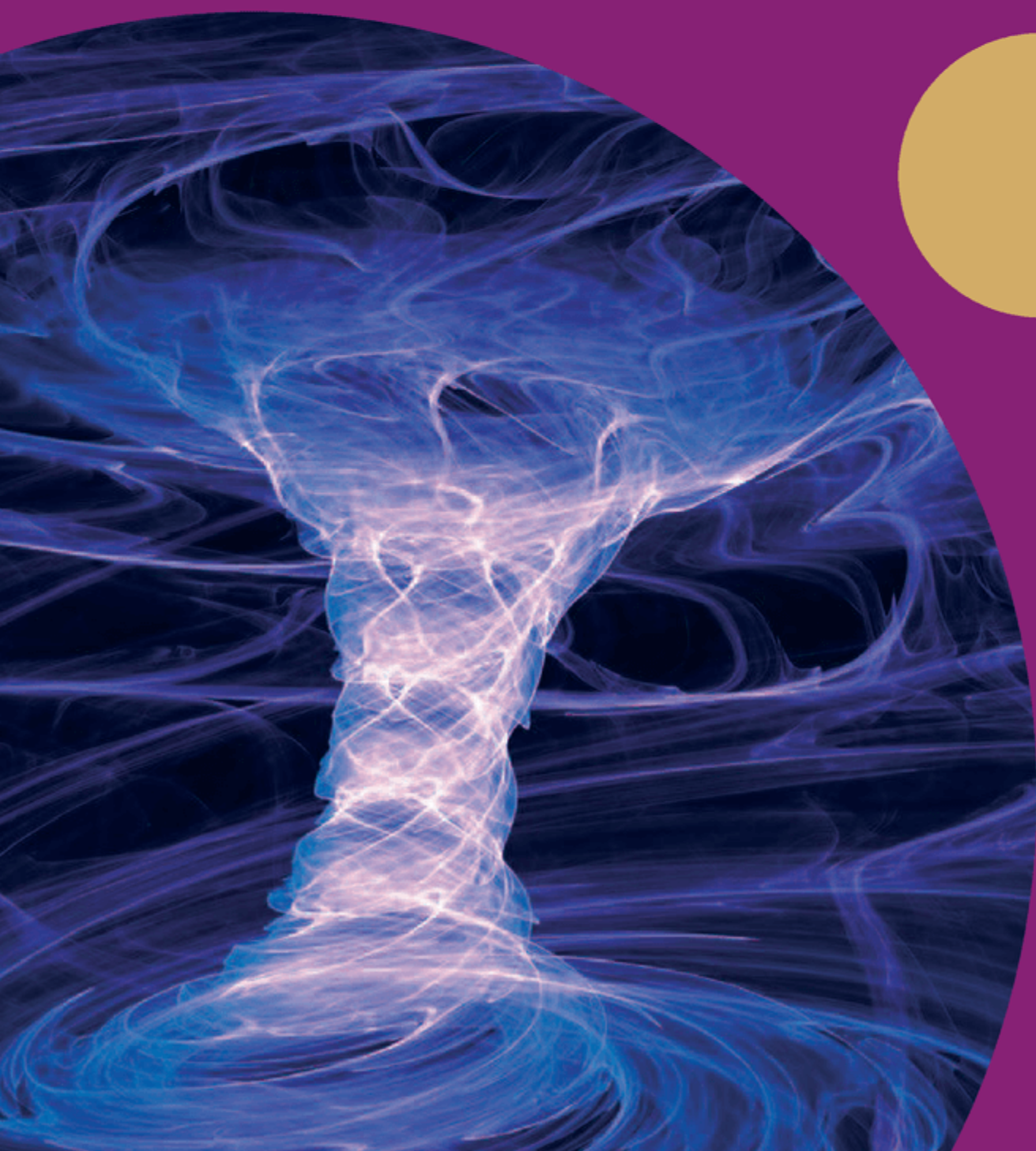


Vladas Valentiniavičius  
Zita Šliavaite

# Fizika 9



Vladas Valentinavičius  
Zita Šliavaitė

# Fizika

Vadovėlis IX klasei





UDK 53(075.3)

Va-171

Recenzavo mokytoja ekspertė LARISA GRAŽIENĖ,  
mokytoja ekspertė ALVIDA LOZDIENĖ

Redaktorė ELVYRA ŽURAUSKIENĖ  
Dailininkės VYTAUTĖ ZOVIEENĖ, RITA BRAKAUSKAITĖ  
Dizainerė KRISTINA JĖČIŪTĖ

Vadovėlis atitinka kalbos taisyklingumo reikalavimus

Pirmasis leidimas 2012 2011 2010

Visi šio leidimo papildomi tiražai yra be pakeitimų ir galioja.  
Pirmasis skaičius rodo paskutinius leidinio tiražavimo metus.

ISBN 978-5-430-05546-2

© Vladas Valentinavičius, 2010

© Zita Šliavaitė, 2010

© Leidykla „Šviesa“, 2010

# Turinys

---

Prisiminkime, ko mokėmės VII ir VIII klasėje / 5

## Š I L U M A

### 1. Kūnų vidinė energija ir jos kitimas

1.1. Šiluminis judėjimas. Vidinė energija / 7

1.2. Kūnų vidinės energijos kitimo būdai / 9

1.3. Šilumos laidumas / 10

1.4. Konvekcija / 14

1.5. Šilumos spinduliavimas / 16

1.6. Šilumos kiekis / 19

1.7. Šilumos kiekio apskaičiavimas / 22

*1-asis laboratorinis darbas.* Kietojo kūno savitosios šilumos apskaičiavimas / 24

1.8. Kuro degimo šiluma / 26

Skyriaus „Kūnų vidinė energija ir jos kitimas“ santrauka / 28

*Savikontrolės užduotys / 29*

### 2. Medžiagos agregatinių būsenų kitimas

2.1. Medžiagos agregatinės būsenos / 31

2.2. Lydymasis / 32

2.3. Kietėjimas / 35

2.4. Garavimas ir kondensacija / 37

2.5. Virimas / 40

Skyriaus „Medžiagos agregatinių būsenų kitimas“ santrauka / 44

*Savikontrolės užduotys / 45*

### 3. Šiluminiai varikliai

3.1. Vidaus degimo variklis / 47

3.2. Garo turbina / 49

3.3. Energijos tvermės dėsnis šiluminiuose procesuose / 51

*2-asis laboratorinis darbas.* Šilumos kiekių palyginimas maišant šaltą ir karštą vandenį / 54

3.4. Šiluminiai reiškiniai ir ekologinės problemos / 54

Skyriaus „Šiluminiai varikliai“ santrauka / 56

*Savikontrolės užduotys / 57*

## E L E K T R A

### 4. Elektros srovė

4.1. Įelektrinti kūnai ir jų sąveika / 59

4.2. Elektrinis laukas / 62

4.3. Kūnų įelektravimo aiškinimas / 65

4.4. Elektros srovė metaluose / 67

4.5. Elektros srovės šaltiniai / 69

4.6. Elektrinė grandinė / 72

Skyriaus „Elektros srovė“ santrauka / 76

*Savikontrolės užduotys / 77*

### 5. Elektros srovės stipris, įtampa, varža

5.1. Elektros srovės stipris / 79

*3-iasis laboratorinis darbas.* Elektros srovės stiprio matavimas įvairiose grandinės dalyse / 82

5.2. Elektrinė įtampa / 84

*4-asis laboratorinis darbas.* Elektrinės įtampos matavimas įvairiose grandinės dalyse / 87

5.3. Laidininko elektrinė varža / 90

5.4. Laidininko elektrinės varžos apskaičiavimas / 93

5.5. Reostatai / 95

5.6. Omo dėsnis grandinės daliai / 97

Skyriaus „Elektros srovės stipris, įtampa, varža“ santrauka / 100

*Savikontrolės užduotys / 101*

---

## **6. Laidininkų jungimo būdai**

6.1. Nuoseklusis laidininkų jungimas / **103**

*5-asis laboratorinis darbas. Nuosekliojo laidininkų jungimo tyrimas / 106*

6.2. Lygiagretusis laidininkų jungimas / **106**

*6-asis laboratorinis darbas. Lygiagrečiojo laidininkų jungimo tyrimas / 110*

6.3. Nuoseklusis ir lygiagretusis jungimas kartu / **110**

Skyriaus „Laidininkų jungimo būdai“ santrauka / **112**

*Savikontrolės užduotys / 113*

## **7. Elektros srovės darbas ir galia**

7.1. Elektros srovės darbas / **115**

7.2. Elektrinė galia / **118**

*7-asis laboratorinis darbas. Elektros lemputė tekančios srovės galios ir darbo apskaičiavimas / 120*

7.3. Paprasčiausi elektriniai prietaisai / **121**

7.4. Saugikliai / **124**

7.5. Elektros srovės poveikis žmogaus organizmui / **126**

Skyriaus „Elektros srovės darbas ir galia“ santrauka / **128**

*Savikontrolės užduotys / 129*

## **8. Elektros srovė įvairiose terpėse**

8.1. Elektros srovė skysčiuose / **131**

8.2. Elektros srovė dujose / **133**

8.3. Elektros srovė vakuume / **136**

8.4. Elektros srovė puslaidininkuose / **138**

Skyriaus „Elektros srovė įvairiose terpėse“ santrauka / **142**

*Savikontrolės užduotys / 143*

## **9. Elektromagnetiniai reiškiniai**

9.1. Elektros srovės magnetinis laukas / **145**

*8-asis laboratorinis darbas. Elektromagneto surinkimas ir išbandymas / 148*

9.2. Nuolatiniai magnetai / **151**

9.3. Žemės magnetinis laukas / **154**

9.4. Elektros variklis / **157**

Skyriaus „Elektromagnetiniai reiškiniai“ santrauka / **160**

*Savikontrolės užduotys / 161*

Skyrelių užduočių atsakymai / **162**

Savikontrolės užduočių atsakymai / **163**

Dalykinė rodyklė / **164**

Iliustracijų šaltiniai / **166**



# Prisiminkime, ko mokėmės VII ir VIII klasėje

Fizikinis dydis	Formulė	Matavimo vienetas	Fizikinis dydis	Formulė	Matavimo vienetas
Medžiagos tankis	$\rho = \frac{m}{V}$	1 kg/m <sup>3</sup>	Mechaninis darbas	$A = Fs$	1 J = 1 N · 1 m
Tolygiai judančio kūno nueitas kelias	$s = vt$	1 m	Mechaninė galia	$N = \frac{A}{t}$	1 W = 1 J/s
Kūno judėjimo trukmė (laikas)	$t = \frac{s}{v}$	1 s	Potencinė energija	$E_p = mgh$	1 J
Tolygiojo judėjimo greitis	$v = \frac{s}{t}$	1 m/s	Kinetinė energija	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	1 J
Pagreitis	$a = \frac{v - v_0}{t}$	1 m/s <sup>2</sup>	Jėgos momentas	$M = Fl$	1 N · m
Svyravimo dažnis	$\nu = \frac{1}{T}$	1 Hz = 1 s <sup>-1</sup>	Naudingumo koeficientas	$\eta = \frac{A_n}{A_v}$	–
Bangos sklidimo greitis	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$	1 m/s	Kietojo kūno slėgis	$p = \frac{F}{S}$	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
Jėga	$F = ma$	1 N	Skysčio stulpelio slėgis	$p = \rho gh$	1 Pa
Sunkis	$F_s = mg$	1 N	Archimedo jėga	$F_A = \rho_s gV$	1 N
Kūno svoris	$P = mg$	1 N			

## Inercijos dėsnis (pirmasis Niutono dėsnis)

Jeigu kūno nepaveikia kiti kūnai, jis išlaiko rimtį arba juda tiesiai ir tolygiai.

## Jėgos dėsnis (antrasis Niutono dėsnis)

Kūno įgytas pagreitis yra tiesiogiai proporcingas veikiančiai jėgai ir atvirkščiai proporcingas kūno masei:  $a = \frac{F}{m}$ .

## Veiksmo ir atoveiksmio dėsnis (trečiasis Niutono dėsnis)

Veikiančioji ir atoveikio jėgos yra lygios, tik priešingų kryptių. Jos veikia skirtingus kūnus.

## Energijos tvermės dėsnis

Vykstant mechaniniams procesams, uždarosios kūnų sistemos pilnutinė energija nekinta:

$$E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2};$$

čia  $E_{p1}$  ir  $E_{k1}$  – kūnų sistemos potencinė ir kinetinė energija proceso pradžioje,  $E_{p2}$  ir  $E_{k2}$  – tos sistemos potencinė ir kinetinė energija proceso pabaigoje.

## Jėgų momentų taisyklė

Jėgų momentų, sukančių kūną pagal laikrodžio rodyklę, suma lygi jėgų momentų, sukančių jį priešinga kryptimi, sumai:

$$F_1 l_1 + F_2 l_2 = F_3 l_3 + F_4 l_4.$$

## Sverto taisyklė

Svertas pusiausvyras yra tada, kai jį veikiančios jėgos atvirkščiai proporcingos jų pečiams:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{l_1}{l_2}.$$

## Paskalio dėsnis

Skysčiai ir dujos perduoda išorinį slėgį visomis kryptimis vienodai.

## Archimedo dėsnis

Skysčiuose (dujose) panardintą kūną veikia aukštyn nukreipta jėga, lygi kūno išstumto skysčio (dujų) svoriui.



# Š I L U M A

## 1

### Kūnų vidinė energija ir jos kitimas

Šiame skyriuje susipažinsite su:

- šiluminio judėjimo reiškiniu;
- vidinės energijos sąvoka;
- vidinės energijos kitimo būdais (atliekant darbą ir perduodant šilumą);
- šilumos perdavimo būdais (šilumos laidumu, konvekcija, šilumos spinduliavimu);
- šilumos kiekio sąvoka;
- kuro degimo šilumos sąvoka.









potencinė energija mažėja, o kinetinė didėja. Atsitrenkęs į smėlį (2 padėtis 1.2 paveiksle), jis sustoja ir netenka mechaninės energijos. Tuo metu kinetinė ir potencinė rutuliuko energija Žemės atžvilgiu lygi nuliui. Tačiau ar mechaninė energija išnyko be pėdsakų? Anaipol. Ji virto rutuliuko ir smėlio (lietimosi vietoje) vidine energija – rutuliukas ir smėlis truputį įšilo. Panašiai stabdomo traukinio kinetinė energija dėl ratų trinties į bėgius virsta vidine energija – ratai ir bėgiai įšyla.

Vidine energija gali virsti ne tik mechaninė, bet ir kitų rūšių energija. Pavyzdžiui, elektrinės viryklės kaitinamasis elementas arba elektros lemputės kaitinamasis siūlas, tekant juo elektros srovei, smarkiai įkaista. Šiuo atveju elektros energija virsta viryklės kaitinamojo elemento arba elektros lemputės kaitinamojo siūlo vidine energija. Apie tai plačiau kalbėsime 7 skyriuje.

Tas pats kūnas gali turėti nevienodą kiekį vidinės energijos. Tai priklauso nuo kūno temperatūros. **Kuo ji aukštesnė, tuo didesnė kūno vidinė energija.** Antai į puodelį įpilta karšta arbata turi daugiau vidinės energijos negu atvė-



1.2 pav.

susi. Karštos arbatos dalelės juda greičiau, vadinasi, įgyja daugiau kinetinės energijos.

Kūnų vidinė energija – nepastovus dydis. Ji gali kisti: didėti arba mažėti. Temperatūrai kylant, vidinė energija didėja, krintant – mažėja. Kaip pakeisti (pakelti arba sumažinti) kūno temperatūrą, taigi ir jo vidinę energiją? Tai galima padaryti dviem būdais, kuriuos aptarsime kitame skyrelyje.

### Užduotys

1. Kas yra šiluminis judėjimas? Kaip manote, kuo šis judėjimas skiriasi nuo kūno mechaninio judėjimo?
2. Kaip šiluminio judėjimo greitis priklauso nuo temperatūros?
3. Karštą dieną skalbiniai džiūsta greičiau negu šaltą. Paaiškinkite kodėl.
4. Vienos vandenilio molekulės vidutinė kinetinė energija  $0^{\circ}\text{C}$  temperatūros sąlygomis lygi  $4,7 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ . Kokia yra visų viename kubiniame centimetre esančių molekulių kinetinių energijų suma? Sąlygos tos pačios.
5. Teniso kamuoliukas nukrito iš tam tikro aukščio, atsitrenkė į žemę ir pakilo aukštin. Kodėl kamuoliukas pašoko ne iki to paties aukščio, iš kurio krito? Išvardykite ir paaiškinkite įvykčius energijos virsmus.
- 6\*. Du vienodi plieniniai rutuliukai nukrito iš to paties aukščio. Vienas pataikė į dėžę su smėliu, kitas atsitrenkė į stalą, atšoko nuo jo ir buvo sugautas. Kurio rutuliuko vidinė energija pakito labiau?
7. Šeimnininkė perkėlė puodynę iš žemesnės lentynos į aukštesnę. Ar pakito puodynės vidinė energija?
8. Iš stiklinio baliono siurbiamas oras. Paaiškinkite, kaip kinta balione liekančio oro vidinė energija.
9. Vienoje stiklinėje yra  $20^{\circ}\text{C}$ , kitoje – tiek pat  $80^{\circ}\text{C}$  temperatūros vandens. Kurio vandens vidinė energija didesnė?
10. Ar tiek pat vidinės energijos turi  $2 \text{ kg } 0^{\circ}\text{C}$  temperatūros vandens ir  $2 \text{ kg}$  tokios pat temperatūros ledo? Atsakymą pagrįskite.



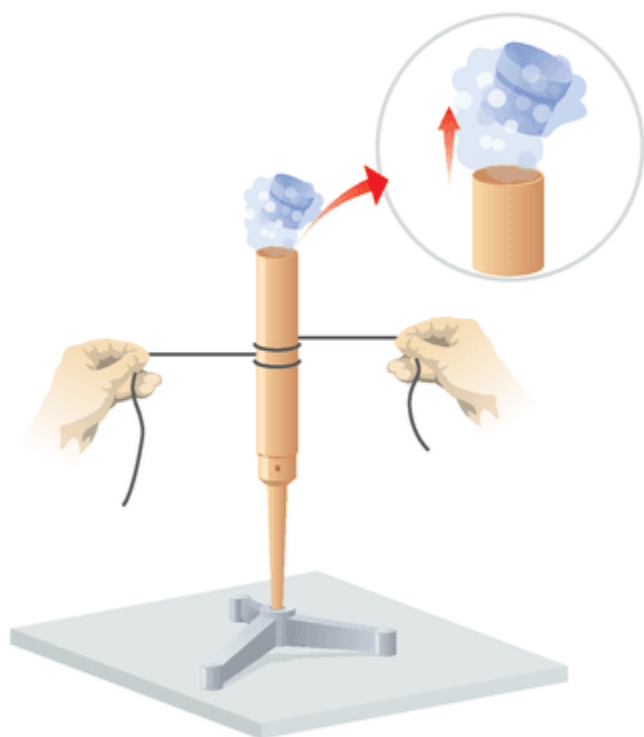
## 1.2. Kūnų vidinės energijos kitimo būdai

Kūnų vidinę energiją galima pakeisti atliekant mechaninį darbą arba perduodant šilumą.

### Vidinės energijos kitimas atliekant mechaninį darbą

**1 bandymas.** Priglauskime abu delnus prie skruostų. Jaučiame, kad delnai šilti. Dabar smarkiai patrinkime delnus vieną į kitą ir vėl priglauskime prie skruostų. Šį kartą delnai bus gerokai šiltesni.

**2 bandymas.** Stove įtvirtinkime plonasienį žalvarinį vamzdelį, įpilkime į jį truputį eterio ir sandariai užkimškime. Vamzdelį apvyniokime virvute ir, laikydami už galų, stipriai traukiokime ją tai į vieną, tai į kitą pusę. Po kurio laiko eteris užvirs ir jo garai išstums kamštį (1.3 pav.).



1.3 pav.

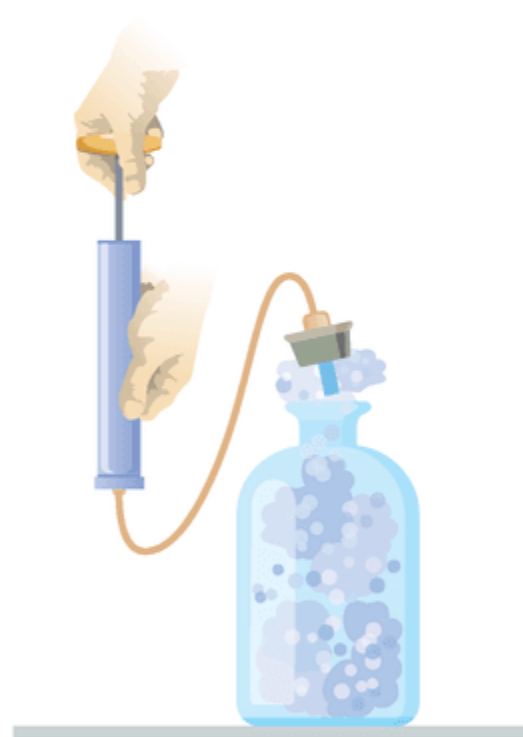
Iš šių bandymų matyti, kad vidinė kūnų energija padidėjo (delnai ir eteris sušilo) dėl darbo, kuris buvo su jais atliktas veikiant trinties jėgai.

**3 bandymas.** Vielos gabaliuką keliolika kartų palankstykite per tą pačią vietą į vieną ir į kitą

pusę. Paskui ranka palieskime lenkimo vietą. Ji yra įkaitusi. Šis bandymas rodo, kad vidinė energija gali padidėti ir deformuojant kūnus.

Jei mechaninį darbą atlieka pats kūnas, jo vidinė energija mažėja. Pailiustruokime tai bandymu.

**4 bandymas.** Į storasienį butelį įlašinkime truputį vandens, užkimškime guminiu kamščiu ir pro kamštį įtaisyte vamzdelį į butelį siurbliu pūskime orą. Padidėjus inde oro slėgiui, kamštis iššoks ir butelis prisipildys rūko (1.4 pav.). Rūko



1.4 pav.

susidarymas rodo, kad staiga plėsdamasis oras butelyje atvėso – jo vidinė energija sumažėjo. Suspaustas oras, išstumdamas kamštį, atliko darbą. Tam jis panaudojo savo vidinę energiją ir ši dėl to sumažėjo.

### Vidinės energijos kitimas perduodant šilumą

Kūnų vidinę energiją galima pakeisti ir ne-atliekant mechaninio darbo. Kūnai gali įšilti,

kai vienos dalelės energiją perduoda kitoms. Toks kūnų vidinės energijos kitimas vadinamas



**šilumės perdavimu.** Šiuo būdu sušyla į puodelį karštos arbatos įdėtas metalinis šaukštelis, ant viryklės užkaistas puodas vandens, saulės spindulių apšviestas namo stogas ir pan. Šiluma

perduodama iš vieno kūno kitam **šilumės laidumu, konvekcija** ir **šilumės spinduliavimu.** Tolesniuose skyreliuose atskirai aptarsime kiekvieną tų būdų.

### Užduotys

1. Kokiais būdais galima pakeisti kūnų vidinę energiją?
2. Kaip kinta kūno, su kuriuo atliekamas mechaninis darbas, vidinė energija? Pateikite pavyzdį.
3. Kūnas atlieka mechaninį darbą. Ar pakinta to kūno vidinė energija?
4. Iššauta kulka, atsitrenkusi į labai kietą kliūtį, išsilydo. Kodėl?
5. Kodėl įkaista nusileidžiančių erdvėlaivių paviršius?
6. Kaip sušildyti sugrubusias rankas, neturint pirštinių ar šiltų daiktų?
7. Kodėl įkaista kalamos vinies galvutė ir plaktukas?
8. Kodėl per kūno kultūros pamoką greitai virve leisdamasis mokinyss gali nusideginti rankas?
9. Kodėl įkaista ilgai važiuojančio automobilio padangos?
10. Senovėje žmonės, trindami du sauso medžio gabalėlius vieną į kitą, juos uždegdavo. Paaiškinkite šį reiškinį.
11. Kodėl automobilių riedėjimo guoliai įkaista mažiau negu slydimo guoliai?
12. Kartais danguje tenka matyti meteorus – švytinčius kietųjų kūnų, įlėkusių į Žemės atmosferą, pėdsakus. Kaip jie atsiranda?
13. Gaminant gazuotą vandenį, pro paprastą vandenį leidžiamas suslėgtas anglies dioksidas. Vandens temperatūra staiga sumažėja. Kodėl?
- 14\*. Šaltą žiemos dieną Egidijus kieme draugams pademonstravo, kad ledas tirpsta ir tada, kai oro temperatūra yra žemesnė negu  $0^{\circ}\text{C}$ . Poromis apsvarstykite, kaip jis tai galėjo padaryti.

## 1.3. Šilumos laidumas

### Šilumos laidumo samprata

Sulietus du nevienodos temperatūros kūnus (pavyzdžiui, į karštą arbatą įdėjus šaltą metalinį šaukštelį), šiluma ima sklisti iš šiltesnio kūno (arbatos) į šaltesnį (šaukštelį). Šiltesnis kūnas dalį savo vidinės energijos perduoda su juo susiliečiančio šaltesnio kūno dalelėms. Dėl to šiltesnio kūno vidinė energija mažėja ir šis kūnas vėsta, o šaltesnio kūno vidinė energija didėja, taigi jis šyla. Tai trunka tol, kol abiejų kūnų temperatūra susilygina. Šildant vieno kūno kurią nors pusę, šiluma sklinda iš šiltesnės jo dalies į šaltesnę ir pamažu įkaista visas kūnas.



1.5 pav.



**1 bandymas.** Aliumininę 5 ct monetą paimkime už vieno krašto, o kitą jos kraštą šildykime spiritine lempute (1.5 pav.). Netrukus įkais visa moneta ir jos išlaikyti nebegalėsime.

## Šilumos sklidimas skirtingomis medžiagomis

Įvairiomis medžiagomis šiluma sklinda nevienodai: vienomis – greičiau, kitomis – lėčiau, dar kitomis beveik visai nesklinda. Pagal tai medžiagos skirstomos į **šilumės laidininkus** ir **izoliatorius** (pranc. *isolation* – atskyrimas, išskyrimas). Antai aliuminiu, iš kurio padaryta moneta (žr. 1 bandymą), šiluma plito labai greitai, todėl sakome, kad aliuminis yra geras šilumos laidininkas. Iš patirties žinome, kad šilumai labai laidūs yra ir kiti metalai, ypač auksas, sidabras ir varis.

**2 bandymas.** Prie stovo pritvirtinkime mėgintuvėlį. Įmeskime į jį kelis ledėsius ir prispauskime juos prie dugno veržle ar kitu daiktu. Tada įpilkime į mėgintuvėlį vandens ir kaitinkime paviršinį jo sluoksnį (1.6 pav.). Po kurio laiko vanduo kaitinimo vietoje užvirs, o ledas mėgintuvėlio dugne dar bus neištirpęs. Tai rodo, kad vandeniui šiluma plinta lėtai, taigi jis yra blogas šilumos laidininkas.



1.6 pav.

**3 bandymas.** Užkimškime pirštu tuščią mėgintuvėlį ir spiritinės lemputės liepsna pakaitinkime jo dugną (1.7 pav.). Jusime, kad oras mė-

**Vidinės energijos perdavimas iš šiltesnio kūno į šaltesnį arba iš šiltesnės kūno dalies į šaltesnę tiesiogiai jiems liečiantis vadinamas šilumės laidumū.**



1.7 pav.

gintuvėlyje ties pirštu šyla lėtai. Vadinasi, jis taip pat prastai praleidžia šilumą, kitaip tariant, yra geras šilumos izoliatorius.

Apskritai dujos, tarp jų ir oras, yra blogesni šilumos laidininkai negu skysčiai. O visų blogiausias – vakuumas (lot. *vacuum* – tuštuma).

## Kas lemia šilumos laidumą?

Kodėl vienos medžiagos yra laidžios šilumai, o kitos – ne? Tai galima paaiškinti remiantis vidine medžiagų sandara. Metalai yra geri šilumos laidininkai, nes juose daug laisvųjų elektronų. Kaitinant metalą, laisvųjų elektronų kinetinė energija didėja, todėl, greitai judėdami metalu, jie sparčiau perduoda energiją metalo atomams (jonams). Labai glaudžiai išsidėstę atomai, gavę šiluminės energijos, ima svyruoti smarkiau ir sąveikaudami perduoda ją gretimiems atomams, šie – kitiems ir taip energija sklinda visu metalu. Skysčiuose ir dujose šiluma perduodama dėl molekulių smūgių ir difuzijos. Difuzijos įtaka šilumos laidumui ryškiausia dujose. Jų molekulės yra toli viena nuo kitos, todėl susiduria rečiau ir lėčiau perduoda energiją viena kitai.

Vidinę energiją perduodant šilumos laidumo būdu, medžiaga iš vienos kūno dalies į kitą arba iš vieno kūno į kitus nepernešama.





1.8 pav., a



1.8 pav., b



1.8 pav., c

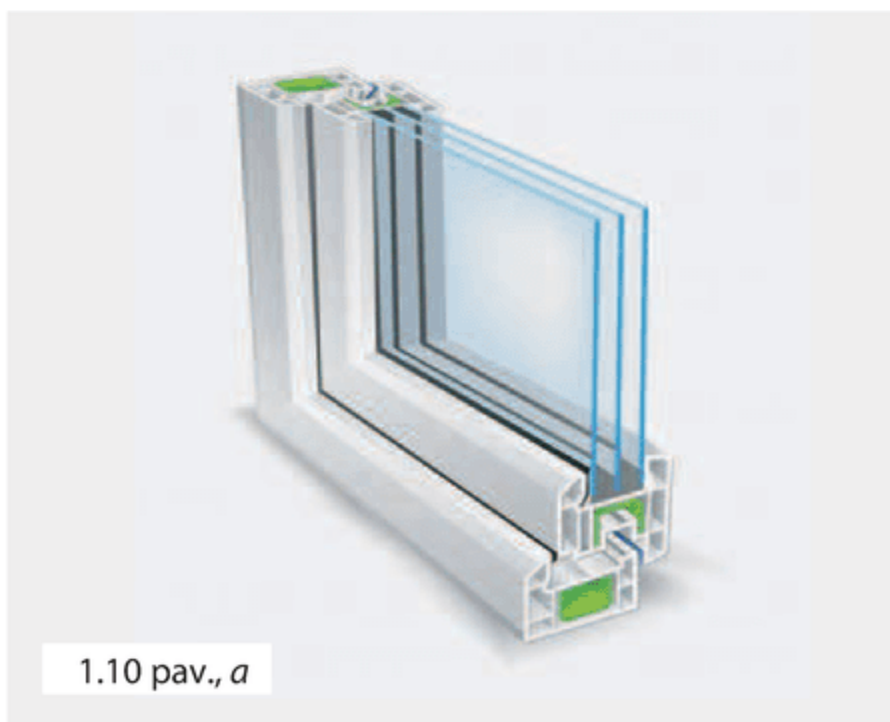
## Šilumos laidumo reikšmė

Šilumos laidumas labai svarbus žmonėms, gyvūnams ir augalams.

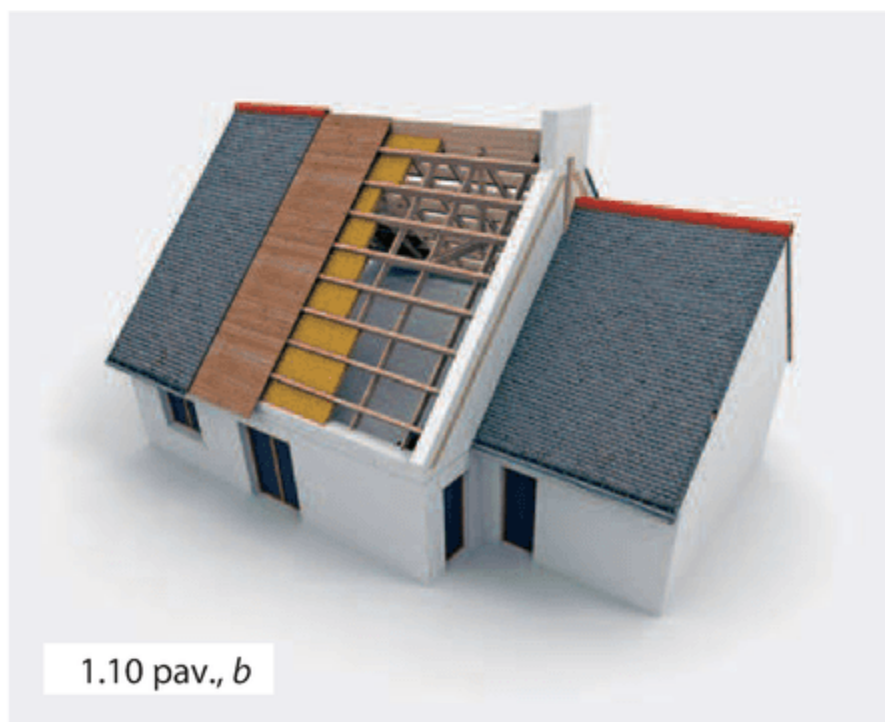
Kai kūnai turi greitai įkaisti, jie gaminami iš gerų šilumos laidininkų. Pavyzdžiui, keptuvės, puodai, lygintuvų padas, radiatoriai, virdulių kaitinamasis elementas paprastai būna metaliniai (1.8 pav.). Kūnams apsaugoti nuo perkaitimo ar atšalimo naudojamos įvairios izoliacinės medžiagos, trukdančios perduoti šilumą laidumo būdu. Antai keptuvių ar puodų rankenos (1.9 pav.) gaminamos iš gerų šilumos izoliatorių (plastiko), nes turi neįkaisti. Kad nesušaltume, velkamės kailinius ir vilnonius drabužius, apsiklojame antklodėmis, mat tarp jų pūkų ar vilnos gerai laikosi oras, kuris yra blogas šilumos laidininkas. Kailis, pūkas ir plunksnos padeda išlaikyti kūno šilumą ir kai kuriems gyvūnams, o purus sniegas žiemą nuo šalčio saugo augalus.



1.9 pav.



1.10 pav., a



1.10 pav., b



### Tai įdomu

★ Medžiagos termoizoliacinės (gr. *thermos* – šiltas, karštas, pranc. *isolation* – išskyrimas, atskyrimas) savybės nusako šilumos laidumo koeficientas  $\lambda$ , kurio matavimo vienetas yra vatas metrui kelviniui ( $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ). Kuo mažesnis šis koeficientas, tuo geresnė termoizoliaci-

ja. Namams šiltinti plačiai naudojamo polistireninio putplasčio šilumos laidumo koeficientas siekia  $0,030\text{--}0,045 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , mineralinės vatos –  $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , akmens vatos –  $0,034\text{--}0,041 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .  
★ Kiek kartų įvairios medžiagos šilumą praleidžia geriau negu oras:

Vakuumas (tuštuma)	0,0
Oras	1,0
Stiklo vata	2,0
Popierius	5,4
Medis	9,0
Vanduo	23
Stiklas	32
Geležis	2000
Aliuminis	9100
Varis	15 000
Sidabras	18 000

Kad oras butuose neatvėstų, stiklinami balkonai, dedami langai su dvigubais ar trigubais stiklais, taip pat su stiklo paketais, akytomis medžiagomis (polistireniniu putplasčiu, stiklo ar akmens vata) šiltinamos namo sienos, stogas ir net grindys (1.10 pav.). Oras, esantis tarp dvigubų lango

stiklų ir akytos medžiagos porose, yra prastas šilumos laidininkas, todėl sulaiko šilumą patalpose ir neleidžia jai skverbtis laukan. Langai su stiklo paketais izoliuoja dar geriau, nes tarp dvigubų ar trigubų jų stiklų yra ne oras, o vakuumas, kuris, kaip minėjome, yra geras izoliatorius.

### Užduotys

1. Koks šilumos perdavimo būdas vadinamas šilumos laidumu? Pateikite du tris jį iliustruojančius pavyzdžius.
2. Kokios medžiagos yra geriausios šilumos laidininkai, o kokios – prasčiausi? Kas lemia jų šilumos laidumą?
3. Prieš pilant karštą vandenį į stiklinę, patariama į ją įdėti metalinį šaukštelį. Kodėl?
4. Kodėl, geriant arbatą iš aliumininio puodelio, galima nudegti lūpas, o geriant iš porcelianinio – ne?
5. Kodėl medis atrodo šiltesnis už metalą?
6. Kuo geri šiaudiniai stogai vasarą ir žiemą?
7. Kodėl šaltą žiemos dieną žvirbliai yra papurę?
8. Kodėl  $20^\circ\text{C}$  temperatūros oras žmogui atrodo šiltas, o tokios pat temperatūros vanduo – vėsus?
9. Kodėl šaltosiose jūrose gyvenantys banginiai ir ruoniniai po oda turi storą riebalų sluoksnį?



1.11 pav.

10. Termosas – tai į plastikinį korpusą įtvirtintas indas su dvigubomis sienelėmis, tarp kurių yra vakuumas, t. y. tuštuma (1.11 pav.). Kodėl termose laikomas karštas vanduo ilgai neatvėsta, o ledas netirpsta?



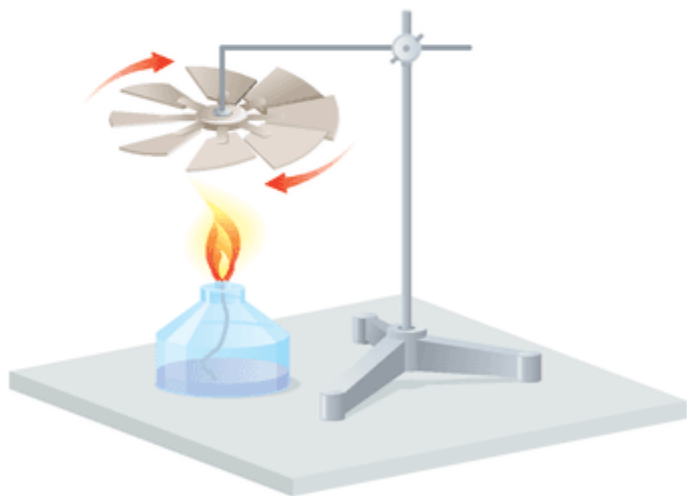
## 1.4. Konvekcija

Šilumą taip pat gali perduoti judėdami skysčiai ar dujos. **Šilumos perdavimas skysčių ar dujų srautais vadinamas konvekcija** (lot. *convectio* – suvežimas, sunešimas).

### Konvekcijos rūšys

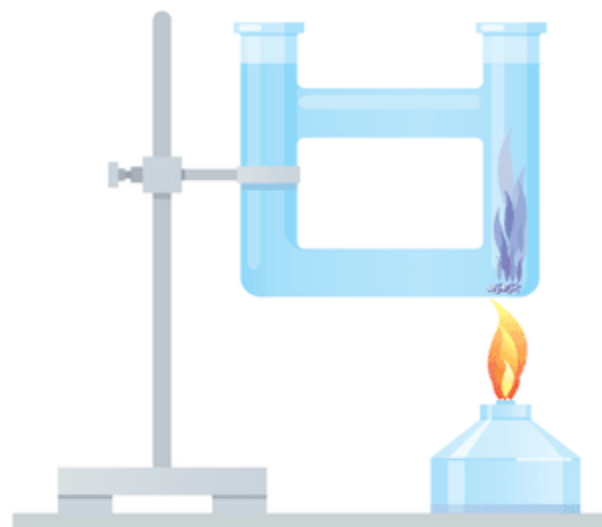
Konvekcija būna dviejų rūšių: **laisvoji** (natūralioji) ir **priverstinė**. Laisvoji konvekcija vyksta skysčiuose arba dujose, kai jų temperatūra ir tankis įvairiose vietose yra skirtingas. Dėl to skystis ar dujos pradeda maišytis ir susidaro vadinamosios **konvėkcinės srōvės**. Jos perneša šilumą iš vienos skysčio ar dujų vietos į kitą ir pamažu sušyla visas skystis (dujos). Konvekcija yra priverstinė, kai medžiagos dalelės juda dėl kokio nors išorinio poveikio, pavyzdžiui, siurblio, maišytuvo. Kietuosiuose kūnuose, net ir šildomuose, konvekcija nevyksta, mat jų dalelės dėl stiprios sąveikos negali pasislinkti, taigi kietuosiuose kūnuose nesusidaro medžiagos srautų.

**1 bandymas.** 1.12 paveiksle pavaizduotą popierinį sukutį palaikykime virš degančios spiritinės lemputės. Nuo jos kylantis šilto oro srautas privers sukutį sukstis. Stipriu šviesos šaltiniu (pavyzdžiui, projekciniu aparatu) apšvietę šį oro srautą iš šono, ekrane matytume kylantį jo šešėlį.



1.12 pav.

**2 bandymas.** Į prietaisą konvekcijai demonstruoti (1.13 pav.) arba stiklinę kolbą įpilkime šal-



1.13 pav.

to vandens. Atsargiai nugramzdinkime į dugną kelis kalio permanganato grūdėlius. Ties ta vieta kaitindami spiritine lempute indą, matome, kaip juda dažyto vandens srautai.

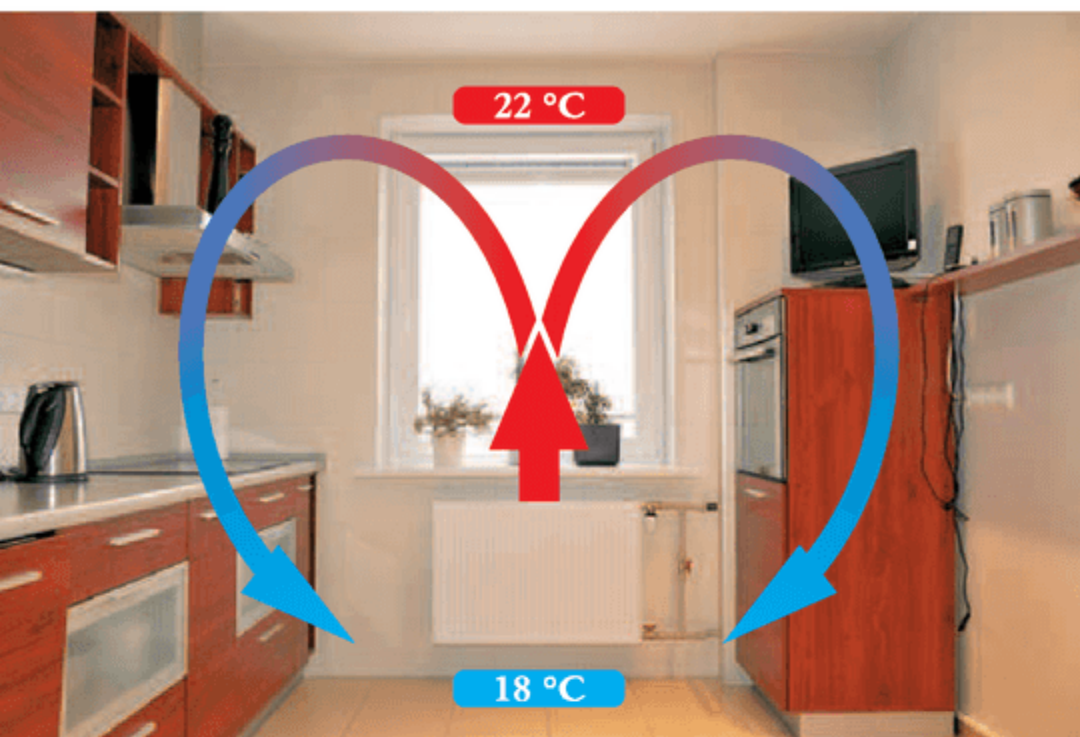
Stebėjome konvekcijos reiškinių, vykstančių netolygiai kaitinamame ore (dujose) ir vandenyje (skystyje). Šildoma oro ir vandens dalis išsiplėtė, jos tankis sumažėjo. Archimedo jėga, kuria šaltas oras ar vanduo stumia aukštyrą šiltą orą ir vandenį, yra didesnė už šilto oro ar vandens svorį. Dėl to sušilęs sluoksnis juda į viršų, kartu pernešdamas šilumą. Į jo vietą nugrimzta vėsesnis ir sunkesnis viršutinis sluoksnis. Maišantis šiltiems ir šaltiems oro ar vandens sluoksniams, jų temperatūra po kurio laiko susilygina (jei kuris nors iš jų nuolat nešildomas).

Jeigu orą arba vandenį kaitintume iš viršaus, apačioje jis ilgai nesusiltų. Mat viršutiniai, lengvesni, sluoksniai negalėtų nusileisti žemiau šaltų, sunkesnių. Tuo galėjome įsitikinti atlikdami 1.6 ir 1.7 paveiksle pavaizduotus bandymus.

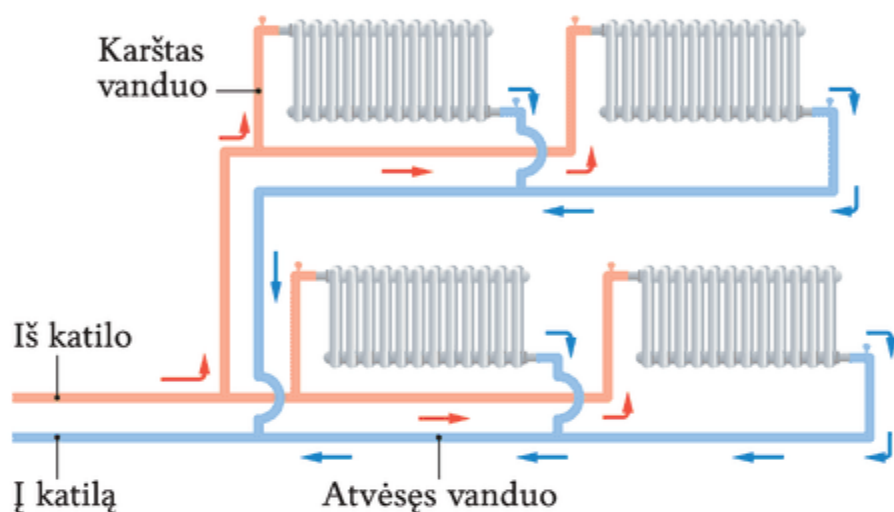
### Praktinė konvekcijos reikšmė

Puodai, keptuvės ir arbatinukai visada šildomi iš apačios, o šaldytuvo šaldymo elementas ir kondicionieriai įrengiami viršuje. Centrinio šildymo radiatoriai patalpose montuojami netoli grindų (1.14 pav.), o orlaidės – viršutinėje lango dalyje.





1.14 pav.



1.15 pav.

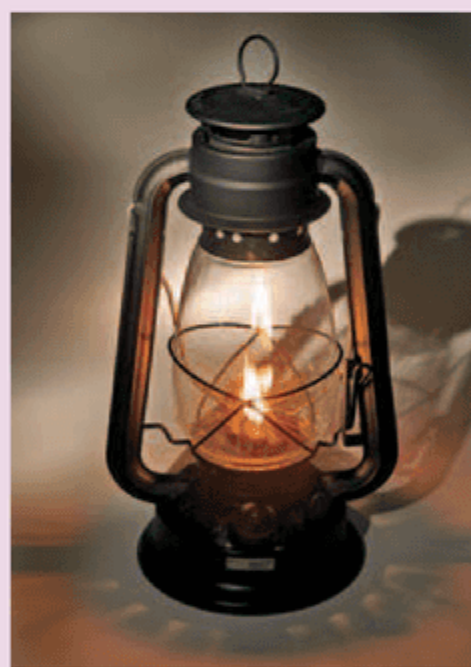
Konvekcijos principu gali veikti nedidelio namo centrinio šildymo sistema (1.15 pav.). Katile (jis dažniausiai įtaisomas namo rūsyje) šildomas vanduo plečiasi, jo tankis mažėja ir karštas vanduo vamzdžiais kyla aukštyn, į kambarių radiatorius. Čia jis didelę dalį savo vidinės energijos šilumos laidumo būdu perduoda radiatoriams ir atvėsta. Paskui vėsus vanduo kitais vamzdžiais teka žemyn, į katilą, ir vėl šildomas. Taip jis cirkuliuoja nesustodamas be siurblių.

Konvekcija pagrįstas ir krosnių kūrenimas. Kurui degti reikia oro deguonies, be to, būtina pašalinti degimo produktus. Dėl to pakuroje turi būti gera trauka. Nedidelių katilinių ir krosnių dūmtraukiuose ji atsiranda dėl to, kad karštų dujų dūmtraukio viduje ir lauko oro tankis yra nevienodas. Į krosnį sruvantis tankesnis šaltas oras tiekia deguonį ir stumia į viršų retesnes karštas dujas (veikia Archimedo jėga). Kuo aukš-

### Tai įdomu

✱ XIX a. pabaigoje ir XX a. pradžioje mūsų kaimuose buvo plačiai naudojamos žibalinės lempos (1.16 pav.). Jų veikimas pagrįstas konvekcijos reiškiniu.

✱ Ryškus priverstinės konvekcijos pavyzdys yra Gølfø srovė – 10 000 km ilgio šiltųjų srovių sistema nuo Fløridos pūsiasalio iki Špicbergeno ir Naujøsios Žemės salų. Floridos sąsiauriu ji plukdo 25 000 000 m<sup>3</sup>/s vandens (20 kartų daugiau negu visos pasaulio upės kartu). Susilieję su šiltąja Antilų srovė, Golfo srovė plukdo 82 000 000 m<sup>3</sup>/s vandens. Srovės greitis 6–10 km/h, plotis 75–120 km, gylis 700–800 m. Vandens paviršiaus vidutinė temperatūra 25–26 °C.



1.16 pav.

čiau virš pakuros iškilęs dūmtraukis, tuo didesnė trauka. Dėl to kaminai ir statomi aukšti.

Atmosferoje konvekcijos būdu pernešami didžiuliai oro srautai (pučia vėjai), kartu ir milžiniški energijos kiekiai. Dėl konvekcijos čia susidaro debesys, iš kurių gali iškristi krituliai, vandenyne susimaišo vanduo, todėl pakilęs į viršų šiltesnis vanduo sušvelnina pajūrio klimatą. Konvekcija vyksta ir Žemės, Saulės bei žvaigždžių gelmėse.



## Užduotys

1. Kokia yra konvekcijos reiškinių esmė? Kuo šis reiškinys skiriasi nuo šilumos laidumo?
2. Kuo skiriasi laisvoji ir priverstinė konvekcija?
3. Paaiškinkite, kaip išyla vanduo ant viryklės užkaistame puode.
4. Ar keičiasi liepsnos kryptis, kraipant degančią žvakę į šoną? Kodėl?
5. Kodėl kambariuose šildymo radiatoriai paprastai statomi po langais?
6. Kodėl virš radiatorių pajuoduoja sienos?
7. Remdamiesi 1.14 paveikslu, paaiškinkite, kaip oras sušyla visame kambaryje.
8. XIV a. Trākų pilies salėje įrengtas centrinis šildymas karštu oru. Kodėl iš plytų sumūryti kanalai buvo įrengti grindyse?
9. Kodėl žiemą dūmtraukiuose trauka didesnė negu vasarą?
10. Kodėl seniai kūrentos krosnies dūmtraukis silpnai traukia dūmus?
11. Kas atsitiktų, jeigu gyvenamosiose patalpose nevyktų konvekcija?
12. Ar galima konvekcija skysčiuose ir dujose nesvarumo sąlygomis, pavyzdžiui, dirbtiniuose Žemės palydovuose?

## 1.5. Šilumos spinduliavimas

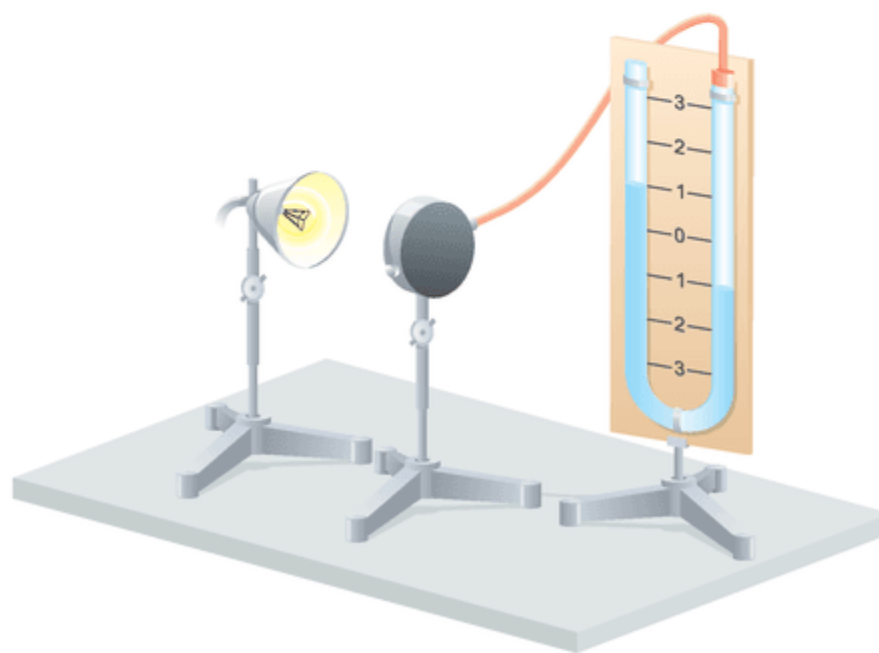
### Šiluma gali sklisti ir ne medžiaga

Erdvėje tarp Žemės atmosferos ir Saulės yra labai mažai medžiagos dalelių. Saulės šviesa ir šiluma sklinda į Žemę per beveik tuščią erdvę, todėl ji negali būti perduota nei šilumos laidumo, nei konvekcijos būdu. O saulės šiluma mus pasiekia. Taigi kaip saulės energija perduodama Žemei?

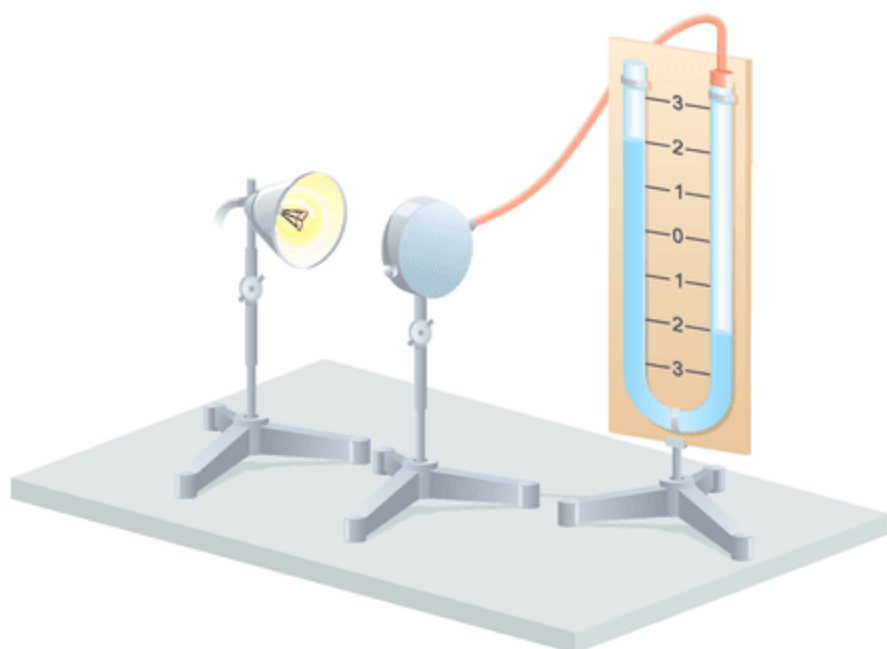
**Šilumos perdavimas ne medžiagomis yra vadinamas šilumės spinduliavimu.** Vėliau, mokydami optikos, sužinosite, kad šiluminė spinduliuotė yra tos pačios prigimties kaip šviesa. Spinduliuotė nėra nei šilta, nei šalta. Išyla tik kūnai, į kuriuos ji krinta. **Tamsūs kūnai didesnę spinduliuotės dalį sugeria, šviesūs, ypač blizgūs, gerai atspindi.**

**1 bandymas.** Plokščią plonasienę apskritą dėžutę (šilumos imtuvą), kurios viena pusė nudažyta juodai, o kita nupoliruota kaip veidrodis, gumine žarnele sujunkime su skysčio manometru. Jo atšakose skysčio lygis bus vienodas. Tada dėžutę pastatykime 20–30 cm atstumu nuo įkai-tusio elektrinio šildytuvo taip, kad į ją būtų atsuk-ta poliruota dėžutės pusė (1.17 pav., a). Skysčio

stulpelis vienoje atšakoje nukris, o kitoje pakils, nes spinduliuotė sušildys dėžutėje esantį orą ir jis išsiplės. Atsukę į šildytuvą kitą dėžutės pusę (1.17 pav., b), matysime, kad skysčio stulpelis dešiniojoje atšakoje nukrinta labiau, vadinasi, juoda dėžutės pusė sugeria daugiau energijos ir oras dėžutėje išsiplėčia labiau.



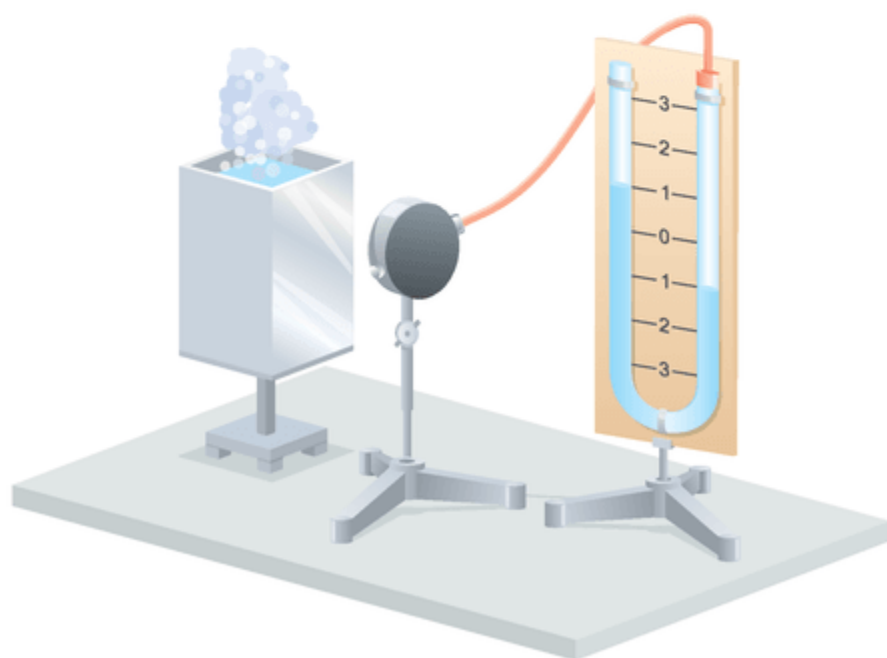
1.17 pav., a



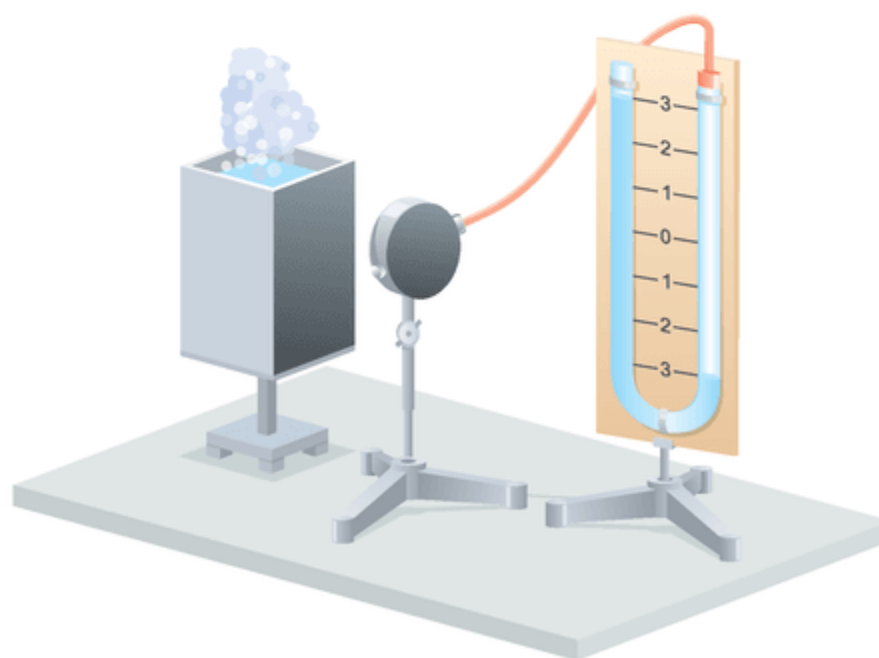
1.17 pav., b

**2 bandymas.** Lėšiu surinkime saulės spindulius viename popieriaus lapo taške. Po kurio laiko popierius patamsėja, pradeda rūkti ir užsidega.

**3 bandymas.** Pakartodami truputį pakeistą pirmąjį bandymą, palyginkime, kaip kūnai juodu ir blizgiu paviršiumi spinduliuoja šilumą. Vietoj elektrinio šildytuvo naudokime pilną verdančio vandens metalinę dėžutę, kurios vienas šonas juodas, kitas – blizgus. Į šilumos imtuvą atsukime tai vieną, tai kitą dėžutės pusę (1.18 pav., a, b). Manometro rodmenys skiriasi. Kai spinduliuoja juodas dėžutės paviršius, skystis manometro kairiojoje atšakoje pakyla aukščiau, kai blizgus – žemiau. Vadinasi, **kūnas, kurio paviršius tamsus, spinduliuoja geriau ir greičiau netenka šilumos, o kurio šviesus – prasčiau.**



1.18 pav., a



1.18 pav., b

### Tai įdomu

★ Saulės spinduliuojamos energijos kiekis, kuris per vieną sekundę patenka į vieno kvadratinio metro plotą, statmeną saulės spinduliams, vadinamas saulės konstanta ir yra lygus  $1,4 \text{ kW/m}^2$ . Saulės konstantą padauginę iš Žemės skerspjūvio ploto, gausime per sekundę į Žemę krintančios energijos dydį (galia):

$$P = 1400 \text{ kW/m}^2 \cdot 3,14 \times (6370 \cdot 10^3 \text{ m})^2 = 1,7 \times 10^{17} \text{ W}.$$

★ Kaip pasiskirsto ši galia? 30 % jos atspindi Žemė, 47 % sugeria atmosfera, žemė, vandens (dėl to jie išsilyja), 23 % eikvojama vandeniui garinti, oro ir vandens srautams transportuoti ir tik mažytę jos dalį –  $10^{12} \text{ W}$  – suvartoja augalai.

★ Tarp  $38^\circ$  šiaurės platumos ir  $38^\circ$  pietų platumos Žemė gauna daugiau energijos, negu jos išspinduliuoja. Poliarinėse srityse ji daugiau išspinduliuoja, negu gauna. Dėl to atogrąžų sričių temperatūra turėtų nuolat kilti, o poliarinių – kristi. Tačiau vėjai atogrąžų sričių šilumą padalija kitoms Žemės sritims.



Šilumą spinduliuoja ne tik įkaitusi krosnis, radiatorius, šviečianti elektros lemputė, bet ir šiltakraujai gyvūnai, žmonės. Kuo aukštesnė kūnų

temperatūra, tuo intensyviau jie spinduliuoja. Pavyzdžiui, įkaitęs lygintuvas šilumos skleidžia daugiau negu mūsų ranka.

## Šilumos spinduliavimo taikymas

Kūnų savybė nevienodai skleisti ir sugerti spinduliuotę plačiai taikoma praktikoje. Arbatinukai ir puodai gaminami blizgiu paviršiumi (1.19 pav.), kad energijos išspinduliuotų mažiau ir ilgiau išliktų šilti. Šaldytuvų aušinimo grotelės paprastai būna juodos, nes turi išspinduliuoti

daugiau energijos. Oro balionai ir lėktuvai dažniausiai dažomi sidabrine spalva, kad saulės spinduliai mažiau juos įkaitintų. Dėl tos pačios priežasties saulėtą dieną ant langų užleidžiame šilumą sulaikančias žaliuzes. Žiemą dažniau vilkime tamsiais, o vasarą – šviesiais drabužiais.



1.19 pav., a



1.19 pav., b

### Užduotys

1. Kuriuo būdu saulės energija perduodama Žemei? Kodėl jos negalima perduoti šilumos laidumo ar konvekcijos būdu?
2. Kuo šilumos spinduliavimas skiriasi nuo konvekcijos ir šilumos laidumo?
3. Kodėl karštą dieną nuo saulės spindulių galima pasislėpti pavėsyje?
4. Tarkime, jūs stovite prie laužo. Įrodykite, kad laužo skleidžiama šiluma jus pasiekia spinduliavimo būdu.
5. Vienas elektrinis lygintuvas įkaitęs iki  $300^{\circ}\text{C}$ , kitas – iki  $350^{\circ}\text{C}$ . Kuris iš jų spinduliuoja labiau?
6. Kai šalta, katės ir šunys miega susirietę. Kodėl?
- 7\*. Pusryčiams išsivirėte kavos. Norite ją užbaltinti pienu ir šiek tiek atvėsinti. Kada geriau įpilti pieno – iš karto ar prieš geriant?
8. Kodėl lauko termometrus reikia kabinti šiaurinėje namo pusėje?
9. Kodėl purvinas sniegas saulėtą dieną tirpsta greičiau negu švarus?
10. Vieno iš dviejų vienodo skysčio pripildytų termometrų rezervuaras nudažytas juodai. Termometrai dedami į šaldytuvą. Kuris termometras greičiau pradės rodyti žemesnę temperatūrą?
11. Erdvėlaivis įšyla dėl trinties ir nuo saulės spindulių. Kuris įšilimo būdas vyrauja erdvėlaiviui skriejant didesniame aukštyje, kuris – mažesniame?
12. Kokiais būdais atiduoda šilumą vėstantis kambarys?
- 13\*. Kaip manote, ar pasikeis oro baliono skridimo aukštis, jei jis karštą dieną pateks į debesų šešėlį?



## Projektas „Kaip sumažinti gyvenamojo namo šildymo išlaidas“

Susibūrę į grupes, išsiaiškinkite, kaip vi-sais trimis būdais (šilumos laidumu, kon-vekcija ir spinduliavimu) šiluma iškeliauja iš gyvenamojo namo ir pasiūlykite būdų, kaip būtų galima ją sulaikyti, o drauge sutaupyti

šildymui išleidžiamų pinigų. Gal kai kurie būdai jau yra pritaikyti jūsų namuose? Gru-pės parengtą projektinį darbą apipavidalin-kite naudodamiesi informacinėmis techno-logijomis ir pristatykite visai klasei.

## 1.6. Šilumos kiekis

### Šilumos kiekio samprata

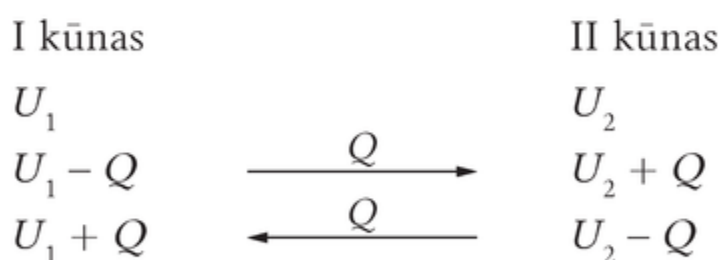
Įsitikinome, kad šilumos netenkančių ar jos gaunančių kūnų vidinė energija kinta – ma-žėja arba didėja. **Vidinės energijos kiekis, kurį kūnas gauna arba kurio netenka šilu-mos perdavimo būdu, vadinamas šilumės kiekiu.** Kaip ir bet kurios kitos rūšies energijos,

šilumos kiekio matavimo vienetas yra džaulis (J). Praktikoje vartojami ir kartotiniai vienetai: ki-lodžaulis (kJ), megadžaulis (MJ).

Šilumos kiekio sąvoka nevartojama tada, kai kalbama apie kūno vidinės energijos pakitimą dėl atlikto darbo.

### Nuo ko priklauso šilumos kiekis?

Schemiškai pavaizduokime dviejų kūnų vidi-nės energijos kitimą, kai vienas kūnas, kurio vi-dinė energija  $U_1$ , atiduoda, o kitas, kurio vidinė energija  $U_2$ , gauna šilumos kiekį  $Q$  (čia  $Q$  lygus kūnų vidinės energijos pokyčiui). Rodyklė žymi energijos perdavimo kryptį.

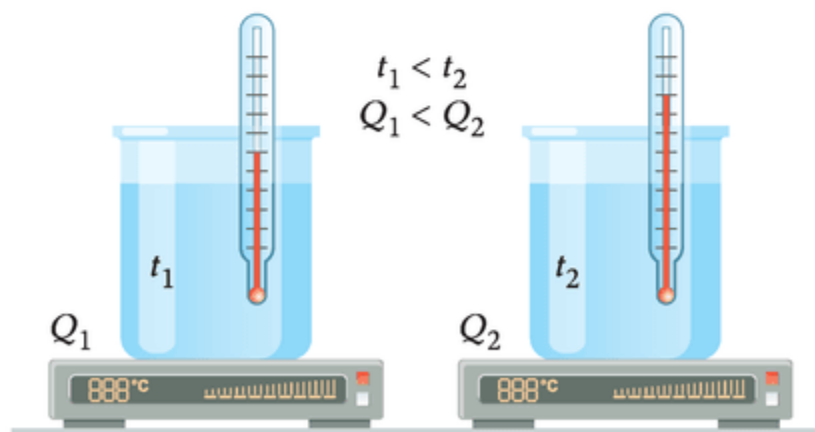


Tik perduodant šilumą, šių dviejų kūnų ben-dra vidinė energija nekinta.

Nuo ko priklauso kaitinamų kūnų gaunamos ir vėstančių kūnų netenkamos vidinės energijos kiekis?

**1 bandymas.** Į dvi chemines stiklines įpil-kime po tiek pat vienodos temperatūros šalto

vandens ir šildykime vienodomis elektrinėmis viryklėmis. Vienoje stiklinėje vandenį pakai-tinkime maždaug iki  $t_1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kitoje – iki  $t_2 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1.20 pav.). Dešinėje stiklinėje van-duo kaito ilgiau – jam sušildyti iki aukštesnės temperatūros reikėjo daugiau šilumos. Taigi ši-lumos kiekis, kurio reikia kūnui sušildyti, priklauso nuo to kūno temperatūros pokyčio.



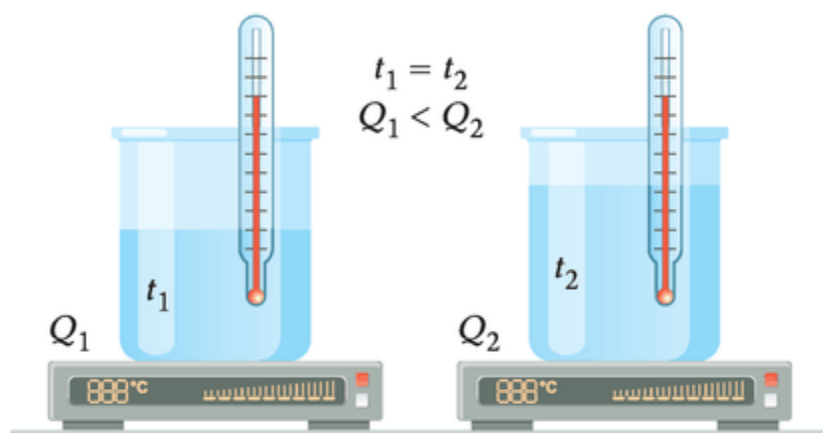
1.20 pav.



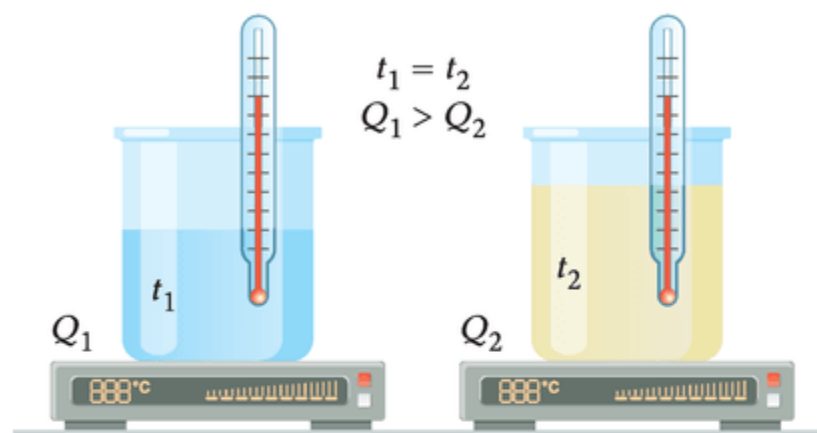
**2 bandymas.** Į vieną stiklinę įpilkime daugiau tokios pat temperatūros vandens negu į kitą. Norėdami vandens temperatūrą abiejose stiklinėse pakelti vienodai (1.21 pav.), turėsime didesnį vandens kiekį kaitinti gerokai ilgiau. Taigi *šilumos kiekis priklauso ir nuo šildomo kūno masės*.

**3 bandymas.** Į vieną stiklinę įpilkime vandens, o į kitą – tokios pat masės ir temperatūros

aliejaus (1.22 pav.). Kaitindami stiklines, pamatysime, kad aliejaus temperatūra kyla sparčiau negu vandens. Norint vandens ir aliejaus temperatūrą pakelti vienodai, vandenį teks šildyti ilgiau – reikės ir daugiau šilumos. Vadinasi, *šilumos kiekis, reikalingas vienodos masės skirtingiems kūnams tiek pat sušildyti, priklauso nuo tų kūnų medžiagos*.



1.21 pav.



1.22 pav.

Apibendrinkime bandymų rezultatus:

1 bandymas		2 bandymas		3 bandymas	
Vanduo	Vanduo	Vanduo	Vanduo	Vanduo	Aliejus
$m_1 = m_2$		$m_1 < m_2$		$m_1 = m_2$	
$t_1 < t_2$		$t_1 = t_2$		$t_1 = t_2$	
$Q_1 < Q_2$		$Q_1 < Q_2$		$Q_1 > Q_2$	

Galime tvirtinti, kad **šilumos kiekis, kurio reikia kūnui sušildyti (vidinei jo energijai pakeisti), priklauso nuo to kūno medžiagos, jo masės ir temperatūros pokyčio.**

## Savitoji šiluma

Skirtingų kūnų gebėjimą nevienodai sugerti arba atiduoti šilumą apibūdina šilumos kiekis, kurio reikia 1 kg medžiagos sušildyti 1 °C. Tas šilumos kiekis vadinamas medžiagos **savitąja šiluma** ir žymimas  $c$ . **Medžiagos savitoji šiluma rodo, kiek šilumos reikia vieno kilogramo medžiagos temperatūrai pakelti vienu laipsniu.**

Iš šios apibrėžties nesunku sužinoti savitosios šilumos matavimo vienetą:

$$[c] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}},$$

arba

$$[c] = 1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Skaitome: „ $c$  matavimo vienetas yra džaulis kilogramui Celsijaus laipsniui.“

### Tai įdomu

✳ Vandens savitoji šiluma yra ypač didelė (žr. lentelę apačioje). Pagrindinę gyvųjų organizmų masės dalį sudaro vanduo. Jo savitoji šiluma neleidžia labai svyruoti jų kūno temperatūrai, kai smarkiai kinta aplinkos temperatūra.

✳ Žinome, kad jūrinis ir žemyninis klimatas labai skiriasi. Dėl didelės vandens savitosios šilumos (ir masės) jūros vasarą sukaupia daug vidinės energijos, nors jų vanduo smarkiai ir

neįšyla. Ši energija žiemą atiduodama Žemei. Dėl to prie jūros žiemos ir vasaros temperatūra mažiau skiriasi. Žemynai dėl mažesnės savitosios šilumos sukaupia mažiau energijos, todėl žiemą jos mažiau ir atiduoda. Žiemos ir vasaros temperatūra gerokai skiriasi. Lygiai taip pat galima paaiškinti dienos ir nakties temperatūrų skirtumus jūrinio ir žemyninio klimato srityse.

✳ Dėl didelės vandens savitosios šilumos labai

reikšminga klimatui Golfo srovė (žr. p. 15). Šios srovės vandens temperatūra tik keliais laipsniais skiriasi nuo jūros vandens. Tačiau Golfo srovė perneša labai daug šilumos. Todėl Norvegija ir Lietuva turi neužšalančius uostus.

✳ Dėl didelės savitosios šilumos vanduo naudojamas namų šildymo sistemoje (radiatoriuose), šiluminiais varikliais aušinti.

Lentelėje pateikiame kai kurių medžiagų savitosios šilumos vertes (esant 20 °C temperatūrai ir normaliajam atmosferos slėgiui).

### Kai kurių medžiagų savitoji šiluma

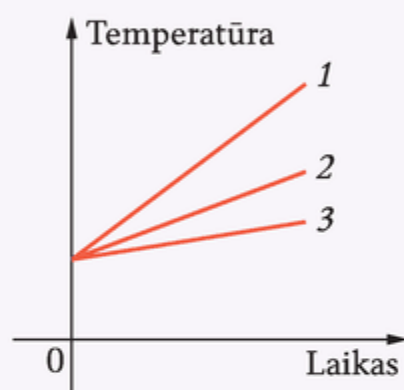
Medžiaga	Savitoji šiluma, J/(kg · °C)	Medžiaga	Savitoji šiluma, J/(kg · °C)
Auksas	130	Smėlis	880
Alavas	220	Betonas	880
Sidabras	250	Aluminis	900
Varis	380	Oras	1008
Geležis	460	Aliejus	1800
Plienai	460	Ledas	2100
Ketus	540	Ažuolas	2400
Plytos	750	Pienas	3900
Stiklas	840	Vanduo	4200

Iš lentelės matyti, kad, pavyzdžiui, 1 kg vandens sušildyti 1 °C reikia apie 5 kartus daugiau šilumos negu 1 kg stiklo ar smėlio, todėl vanduo nuo saulės šilumos įkaista mažiau nei stiklas ar smėlis.

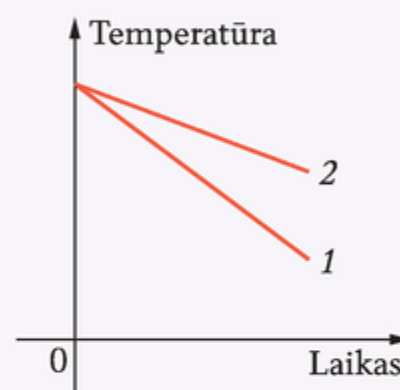


## Užduotys

1. Suformuluokite savitosios šilumos apibrėžtį, kai atitinkamos medžiagos 1 kg masės kūnas atvėsta  $1^{\circ}\text{C}$ .
2. Kokie energijos virsmai vyksta, į karštą vandenį įdėjus šaltą kūną?
3. Kodėl tik pagal temperatūros pokytį negalima spręsti apie kūno gautą šilumos kiekį?
4. Kam reikia daugiau šilumos: plieniniam puodui ar jame esančiam vandeniui sušildyti? Puodo ir vandens masė vienoda.
5. 1 kg masės plieninis, stiklinis ir aliumininis ritiniai atvėso  $1^{\circ}\text{C}$ . Keliais džauliais ir kaip pakito kiekvieno ritinio vidinė energija?
6. Kodėl žiemą maži ir seklūs ežerai užšąla greičiau negu dideli ir gilūs?
7. Kodėl gerokai žemesnės temperatūros radiatorius prišildo kambarį geriau negu smarkiai įkaitintas lygintuvas?
8. Tokiomis pačiomis elektrinėmis viryklėmis buvo šildomi vienodos masės aliumininis, plieninis ir varinis kūnai. Kuris grafikas (1.23 pav.) vaizduoja aliuminio, kuris – plieno, kuris – vario šilumą?
9. 1.24 paveiksle pavaizduoti dviejų vienodos masės, bet iš skirtingų (vienodo šilumos laidumo) medžiagų padarytų kūnų vėsimo grafikai. Kurio kūno savitoji šiluma mažesnė?



1.23 pav.



1.24 pav.

## 1.7. Šilumos kiekio apskaičiavimas

Susipažinome su medžiagų savitąja šiluma. Dabar galime apskaičiuoti šilumos kiekį, reikalingą bet kokios masės kūno temperatūrai pakelti  $1^{\circ}\text{C}$ . Tačiau kartais ją reikia padidinti ne  $1^{\circ}\text{C}$ , o gerokai daugiau. Trumpai tokią užduotį galime formuluoti taip: „Kūno masė  $m$ , jo medžiagos savitoji šiluma  $c$ . Kiek šilumos reikia suteikti kūnui, kad jo temperatūra pakiltų nuo  $t_1$  iki  $t_2$ ?“

Šį uždavinį išspręsimė samprotaudami taip:

1 kg medžiagos temperatūrai pakelti  $1^{\circ}\text{C}$  reikia  $c$  šilumos,

$m$  kg medžiagos temperatūrai pakelti  $1^{\circ}\text{C}$  reikia  $m$  kartų daugiau šilumos, t. y.  $c \cdot m$ ,

$m$  kg medžiagos temperatūrai pakelti nuo  $t_1$  iki  $t_2$  reikia  $(t_2 - t_1)$  kartų daugiau šilumos, t. y.  $c \cdot m(t_2 - t_1)$ .

Tai galima užrašyti formule

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

Ja toliau remsimės apskaičiuodami šilumos kiekį, kurį gauna kūnas. Formulę taikysime ir

tada, kai kūnas ne gauna, o atiduoda šilumą ir dėl to jo vidinė energija mažėja. Kadangi tokio kūno galinė temperatūra yra mažesnė už pradinę ( $t_2 < t_1$ ), atiduodamas šilumos kiekis neigiamas.

Taigi, **norint apskaičiuoti šilumos kiekį, kurį kūnas gauna šildamas arba atiduoda aušdamas, reikia medžiagos savitąją šilumą padauginti iš kūno masės ir jo temperatūrų skirtumo.**

Perduodant šilumą, dažnai tenka lyginti vienų kūnų atiduotą šilumos kiekį su kitų gautu (vienų sumažėjusią vidinę energiją su kitų padidėjusia). Pateikiame tokio uždavinio sprendimo pavyzdį.

**1 uždavinys.** Puode yra 3 kg 10 °C temperatūros vandens. Į jį įpylus 2 kg verdančio vandens, puode nusistovėjo 46 °C temperatūra. Palyginkime šilumos kiekį, kurį atidavė aušdamas verdantis vanduo, su šalto vandens gautu šilumos kiekiu. Puodo įšilimo ir kitų energijos nuostolių nepaisykime.

$$\begin{aligned} m_1 &= 3 \text{ kg} \\ t_1 &= 10 \text{ }^\circ\text{C} \\ m_2 &= 2 \text{ kg} \\ t_2 &= 100 \text{ }^\circ\text{C} \\ t_3 &= 46 \text{ }^\circ\text{C} \\ c_1 &= c_2 = 4200 \text{ J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{atid}} &- ? \\ Q_{\text{gaut}} &- ? \end{aligned}$$

### Sprendimas

Verdantis vanduo, atvėsdamas nuo 100 °C iki 46 °C, atidavė šilumos kiekį<sup>1</sup>

$$\begin{aligned} Q_{\text{atid}} &= c_2 m_2 (t_3 - t_2); \\ Q_{\text{atid}} &= 4200 \text{ J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} \cdot 2 \text{ kg} \cdot (46 - 100) \text{ }^\circ\text{C} = \\ &= -453\,600 \text{ J} = -453,6 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

Šaltas vanduo, sušildamas nuo 10 °C iki 46 °C, gavo šilumos kiekį

$$\begin{aligned} Q_{\text{gaut}} &= c_1 m_1 (t_3 - t_1); \\ Q_{\text{gaut}} &= 4200 \text{ J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} \cdot 3 \text{ kg} \cdot (46 - 10) \text{ }^\circ\text{C} = \\ &= 453\,600 \text{ J} = 453,6 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

Matome, kad, nepaisant puodo įšilimo ir kitų energijos nuostolių, šilumos kiekis, kurį atidavė

### Tai įdomu

★ Šilumos kiekio matavimo vienetas ilgą laiką (iki 1956 m.) buvo kalorija (lot. *calor* – šiluma, karštis), su trumpintai žymima cal. Su džauliu ji susijusi taip:  
1 cal = 4,1868 J  $\approx$  4,2 J.  
1 cal lygi šilumos kiekiui, kurio reikia 1 g vandens sušildyti 1 °C – nuo 19,5 °C iki 20,5 °C.

aušdamas verdantis vanduo, lygus šalto vandens gautam šilumos kiekiui. Tai galime užrašyti naudodami iš matematikos kurso žinomą modulio ženklą<sup>2</sup>:  $|Q_{\text{atid}}| = |Q_{\text{gaut}}|$ . Iš tiesų verdantis vanduo atiduoda daugiau šilumos, nes dalis jos perduodama puodui, dalis – orui.

**Atsakymas.**  $|Q_{\text{atid}}| = |Q_{\text{gaut}}| = 453,6 \text{ kJ}$ .

**2 uždavinys.** Į plieninį arbatinį, kurio masė 0,6 kg, įpilta 1,2 l šalto vandens. Jo temperatūra 18 °C. Kiek šilumos reikės šiam vandeniui užvirkinti? Šilumos nuostolių nepaisykime.

$$\begin{aligned} m_{\text{arb}} &= 0,6 \text{ kg} \\ V_{\text{v}} &= 1,2 \text{ l} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ \rho_{\text{v}} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ t_1 &= 18 \text{ }^\circ\text{C} \\ t_2 &= 100 \text{ }^\circ\text{C} \\ c_{\text{pl}} &= 460 \text{ J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} \\ c_{\text{v}} &= 4200 \text{ J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} \\ Q &- ? \end{aligned}$$

### Sprendimas

Vanduo ir arbatinis šildomi kartu, todėl pradinė ir galinė jų temperatūra bus vienoda (abu įšils tiek pat laipsnių). Arbatinis gaus šilumos kiekį

$$Q_1 = c_{\text{pl}} m_{\text{arb}} (t_2 - t_1),$$

o vanduo – šilumos kiekį

$$Q_2 = c_{\text{v}} m_{\text{v}} (t_2 - t_1) = c_{\text{v}} \rho_{\text{v}} V_{\text{v}} (t_2 - t_1).$$

<sup>1</sup>Dažnai, užuot sakius: „kūnas gauna (atiduoda) šilumos kiekį“, sakoma trumpiau: „kūnas gauna (atiduoda) šilumos“.

<sup>2</sup>Prisiminkime, kad priešingųjų skaičių moduliai yra lygūs. Pavyzdžiui,  $|5| = 5$ ,  $|-5| = 5$ .



Apskaičiavę abiejų šilumos kiekių vertes, gauname:

$$Q_1 = 460 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)} \cdot 0,6 \text{ kg} \cdot (100 ^\circ\text{C} - 18 ^\circ\text{C}) = 22\,632 \text{ J};$$

$$Q_2 = 4200 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot (100 ^\circ\text{C} - 18 ^\circ\text{C}) = 413\,280 \text{ J}.$$

Vadinasi, vandeniui kartu su arbatiniu įkaitinti reikės šilumos kiekio

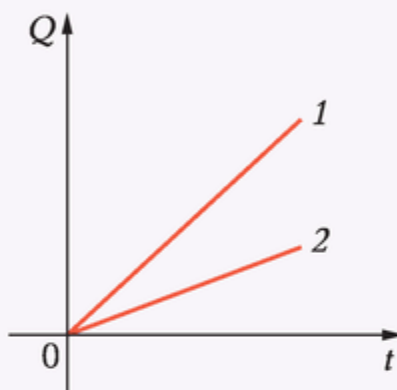
$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q = 22\,632 \text{ J} + 413\,280 \text{ J} = 435\,912 \text{ J} \approx 435,9 \text{ kJ}.$$

*Atsakymas.*  $Q \approx 435,9 \text{ kJ}$ .

### Užduotys

1. Kiek šilumos reikia 1 kg ketaus pašildyti  $1 ^\circ\text{C}$ ?
2. 600 g masės plieninis strypas įkaitintas nuo  $20 ^\circ\text{C}$  iki  $1020 ^\circ\text{C}$ . Kiek padidėjo strypo vidinė energija?
3. Kiek vidinės energijos neteks aušdamas nuo  $100 ^\circ\text{C}$  iki  $20 ^\circ\text{C}$  10 l kibiras vandens?
4. 200 g  $60 ^\circ\text{C}$  temperatūros vandens sumaišyta su 300 g  $20 ^\circ\text{C}$  temperatūros vandens. Mišinio temperatūra  $36 ^\circ\text{C}$ . Apskaičiuokite šaltesnio vandens gautą ir karštesnio vandens atiduotą šilumos kiekį. Energijos nuostolių nepaisykite.
5. Kiek litrų vandens galima pakaitinti  $10 ^\circ\text{C}$ , sunaudojant 84 kJ šilumos?
6. Keliais laipsniais pakils 28 g masės sidabrinio šaukštelio temperatūra, suteikus jam 210 J šilumos?
7. 500 g masės aliumininiame puode yra 2 l vandens, kurio temperatūra  $20 ^\circ\text{C}$ . Kiek šilumos reikia vandeniui puode užvirinti?
- 8\*. Plätelių ežero paviršiaus plotas  $12,1 \text{ km}^2$ , vidutinis gylis 10,4 m. Kiek šilumos išskirs ežero vanduo, rudenį atvėsdamas  $10 ^\circ\text{C}$ ?
9. Plieniniame prikaistuvyje šildomas pienas. Prikaistuvio ir jame šildomo pieno masė vienoda. 1.25 paveikslas vaizduoja, kaip laikui bėgant kito šilumos kiekis, kurį gavo prikaistuvio ir pieno. Kurį grafiką priskirsite pienui, kurį – prikaistuviui?
- 10\*. Iš kokio aukščio turėtų kristi 1 l vandens, kad jo temperatūra pakiltų  $1 ^\circ\text{C}$  (potencinė energija be nuostolių virsta vidine energija)?
11. Vonioje yra 100 l  $15 ^\circ\text{C}$  temperatūros vandens. Kiek litrų  $60 ^\circ\text{C}$  vandens reikia įpilti į vonią, kad vandens temperatūra joje pakiltų iki  $35 ^\circ\text{C}$ ? Energijos nuostolių nepaisykite.



1.25 pav.

## 1-asis laboratorinis darbas

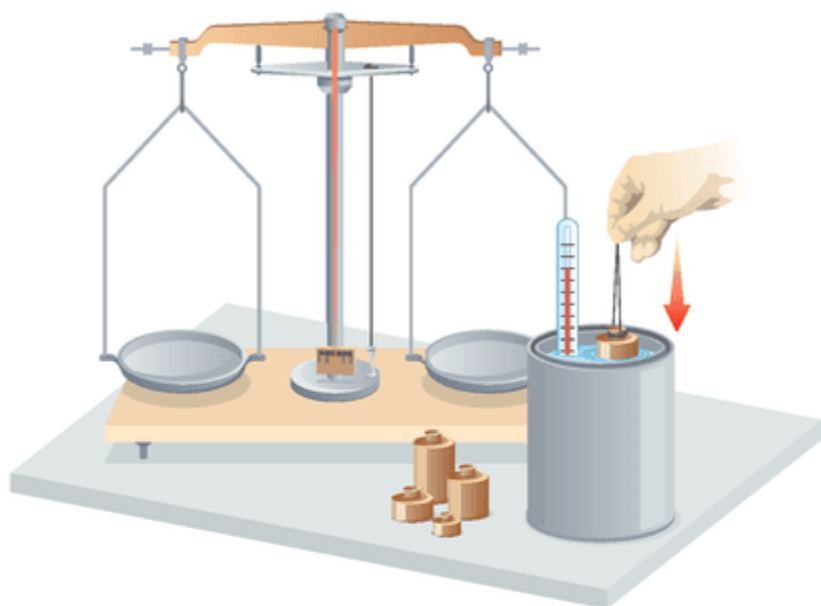
### Kietojo kūno savitosios šilumos apskaičiavimas

*Priemonės:* 1) metaliniai ritinėliai; 2) kalorimetras; 3) termometras; 4) svarstyklės; 5) svarsčiai; 6) stiklinė su šaltu vandeniu; 7) indas su verdančiu vandeniu; 8) matavimo cilindras; 9) popierinė servetėlė.

*Pastaba.* Kalorimetras – tai prietaisas, sudarytas iš dviejų vienas į kitą įstatytų indų, tarp kurių yra oro tarpas. Dėl mažos šilumos apykaitos tarp įpilto į vidinį indą skysčio ir aplinkos kalorimetras naudojamas šiluminiais reiškiniais tirti.

### Darbo eiga

1. Į vidinį kalorimetro indą įpilkite apie 150 g kambario temperatūros vandens.
2. Išmatuokite jo temperatūrą  $t_1$ .
3. Mokytojas verdančiame vandenyje pakaitina metalinius ritinėlius, išmatuoja vandens temperatūrą  $t_2$  ir išdalia karštus ritinėlius mokiniams.
4. Karštą ritinėlį įdėkite į kalorimetrą (1.26 pav.), palaukite, kol vandens temperatūra nusistovės, t. y. nustos kilti, ir išmatuokite ją ( $t$ ).



1.26 pav.

5. Išimkite iš vandens ritinėlį, nušluostykite ir svarstyklėmis išmatuokite jo masę.
6. Šasiuvinėje nusibraižykite lentelę ir joje surašykite matavimo duomenis:

Vandens kalorimetre masė $m_1$ , kg	Šalto vandens temperatūra $t_1$ , °C	Metalinio ritinėlio masė $m_2$ , kg	Karšto ritinėlio temperatūra $t_2$ , °C	Įšilusio vandens temperatūra $t$ , °C

### Užduotys

1. 10 kg masės įkaitęs akmuo, ataušdamas vandenyje 2 °C, atiduoda jam 16,8 kJ energijos. Nustatykite, kokia yra akmens savitoji šiluma.
2. Kiek laipsnių sušils 15 °C temperatūros šaltas vanduo, kai jį sumaišysime su tokiu pat kiekiu karšto vandens, kurio temperatūra 85 °C?

7. Apskaičiuokite metalo, iš kurio padarytas ritinėlis, savitąją šilumą.

a) Šaltas vanduo kalorimetre gavo iš karšto ritinėlio šilumos kiekį

$$Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1);$$

čia  $c_1$  – vandens savitoji šiluma.

b) Metalinis ritinėlis vėsdamas atidavė vandeniui šilumos kiekį

$$Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2);$$

čia  $c_2$  – ritinėlio metalo savitoji šiluma.

c) Šilumos kiekis, kurį gavo kalorimetre esantis vanduo, lygus vėstančio ritinėlio atiduotam šilumos kiekiui (kalorimetro įšilimo ir šilumos atidavimo aplinkai nepaisykite), t. y.

$$|Q_1| = |Q_2|,$$

todėl

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 |(t - t_2)|,$$

arba

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t).$$

Šios lygties nežinomasis yra ritinėlio metalo savitoji šiluma  $c_2$ :

$$c_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)}.$$

Į gautą lygtį įrašykite per bandymą išmatuotų fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuokite metalo savitąją šilumą  $c_2$ .

8. Pagal lentelę (žr. p. 21) nustatykite, iš kurios medžiagos pagamintas ritinėlis.



## 1.8. Kuro degimo šiluma

### Šilumos šaltiniai

Šiluma mus pasiekia iš įvairių šaltinių. Daugiausia Žemę šildo Saulė. Tačiau šilumą skleidžia ir vulkanai (lot. *Vulkanus* – romėnų ugnies dievas) bei geizeriai (island. *geysa* – trykšti). Labai daug jos išskiria degdamas **kūras**: akmens anglis, mazutas, gamtinės dujos, durpės, malkos, benzinas ir kt.

Kad kuras pradėtų skleisti šilumą, jį reikia pakaitinti iki užsidegimo temperatūros. Degant medžiagai, ją sudarančių dalelių ryšiai nutrūksta (tam naudojama šiluma). Atsiskyrusios dalelės tuoj pat reaguoja su deguonimi ir sudaro naujus junginius. Degimo reakcijos metu išsiskiria šiluma. (Prisiminkite VIII klasės chemijos kurso temą „Reakcijos šiluma. Egzoterminės ir endoterminės reakcijos“.)

### Kuro degimo šiluma

Skirtingų rūšių kuras degdamas išskiria nevienodą kiekį šilumos. Norėdami palyginti įvairių rūšių kurą, turime nustatyti, kiek šilumos išskiria visiškai sudegdamas vienodas jo kiekis. Palyginimui imamos įvairios kurui naudojamos medžiagos, kurių masė yra vienetinė, pavyzdžiui, lygi vienam kilogramui. **Šilumos kiekis, kurį išskiria visiškai sudegdamas 1 kg kuro, vadinamas kuro degimo šiluma.** Ji žymima raide  $q$ . Kuro degimo šilumos matavimo vienetas yra džaulis kilogramui:

$$[q] = 1 \text{ J/kg.}$$

Lentelėje pateikiame kai kurių rūšių kuro degimo šilumos vertes.

Kai kurių rūšių kietojo, skystojo ir dujinio kuro degimo šiluma

Medžiaga	Degimo šiluma, J/kg	Medžiaga	Degimo šiluma, J/kg
Sausos malkos	$1,0 \cdot 10^7$	Dyzelinas	$4,3 \cdot 10^7$
Durpės	$1,4 \cdot 10^7$	Nafta	$4,3 \cdot 10^7$
Etilo alkoholis	$2,7 \cdot 10^7$	Benzinas	$4,4 \cdot 10^7$
Akmens anglis	$2,8 \cdot 10^7$	Suskystintosios dujos	$4,6 \cdot 10^7$
Antracitas	$3,0 \cdot 10^7$	Žibalas	$4,6 \cdot 10^7$
Medžio anglis	$3,4 \cdot 10^7$	Gamtinės dujos	$4,9 \cdot 10^7$
Mazutas	$4,1 \cdot 10^7$	Vandenilis	$12 \cdot 10^7$

Iš lentelės matyti, kad, pavyzdžiui, sausų malkų degimo šiluma lygi  $1,0 \cdot 10^7$  J/kg, o gamtinių dujų –  $4,9 \cdot 10^7$  J/kg. Vadinasi, visiškai sudegdamas 1 kg sausų malkų išskiria  $1,0 \cdot 10^7$  J šilumos, o 1 kg gamtinių dujų –  $4,9 \cdot 10^7$  J šilumos, t. y. beveik 5 kartus daugiau negu 1 kg sausų malkų. Todėl, norint gauti tiek pat šilumos, dujų reikia sudeginti 5 kartus mažiau negu malkų. Vadinasi, gamtinės dujos yra efektyvesnės už malkas.

Žinodami, kiek šilumos išskiria sudegdamas 1 kg kuro, galime apskaičiuoti bet kurio jo kiekio išskiriamą šilumą:

$$Q = qm.$$

**Visiškai sudegdamas kuras išskiria šilumos kiekį ( $Q$ ), lygų degimo šilumos ( $q$ ) ir sudegusio kuro masės ( $m$ ) sandaugai.**



### Tai įdomu

★ Svarbiausi kuro kokybės rodikliai yra degimo šiluma, šilumingumas, peleningumas ir drėgnis. Šilumingumas – tai aukščiausia kuro degimo temperatūra, pavyzdžiui, durpių ji yra 1500–1600 °C, medienos – 1600–1700 °C, akmens anglių – 2000–2100 °C, benzino ir mazuto – 2100 °C. Tų pačių medžiagų drėgnis toks: durpių – 40–50 %,

medienos – 30–40 %, akmens anglių – 5–15 %, mazuto – 3 %, benzino – 0 %. Drėgną ir peleningą kurą toli vežti neapsimoka, todėl jis suvartojamas arti gavimo vietos. Tai durpės ir malkos.

★ Lietuvoje kurui plačiai naudojamos malkos. Ažuolo, sodo medžių jos yra kietos, beržo, uosio ir klevo – pusiau kietos, eglės, liepos ir drebu-

lės – minkštos. Geriausiomis laikomos kietos malkos. Malkų šilumingumas priklauso nuo jose esančio vandens kiekio. Kurui naudojamų malkų drėgnis turi būti tik 15–20 %. Kirsti medžius malkoms labiausiai tinka žiemą. Tada jie turi mažiausiai vandens (apie 35 %). Pavasarį kirstų medžių drėgnis būna apie 50 %.

**Uždavinys.** Kiek 50 °C temperatūros vandens galima sušildyti iki 75 °C, sudeginus 1 kg durpių? Visa degant durpėms išsiskyrusi šiluma kaitina tik vandenį.

$$\begin{aligned} t_1 &= 50\text{ }^{\circ}\text{C} \\ t_2 &= 75\text{ }^{\circ}\text{C} \\ m_d &= 1\text{ kg} \\ c_v &= 4200\text{ J/(kg}\cdot^{\circ}\text{C)} \\ q_d &= 1,4\cdot 10^7\text{ J/kg} \\ m_v &= ? \end{aligned}$$

### Sprendimas

Sudegdamos durpės išskiria šilumos kiekį

$$Q_1 = q_d m_d.$$

Kaitinamas vanduo gauna šilumos kiekį

$$Q_2 = c_v m_v (t_2 - t_1).$$

Kadangi visa degant durpėms išsiskyrusi šiluma naudojama tik vandeniui kaitinti, tai

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2, \\ q_d m_d &= c_v m_v (t_2 - t_1). \end{aligned}$$

Iš čia

$$m_v = \frac{q_d m_d}{c_v (t_2 - t_1)}.$$

Apskaičiuojame  $m_v$  vertę:

$$m_v = \frac{1,4\cdot 10^7\text{ J/kg}\cdot 1\text{ kg}}{4200\text{ J/(kg}\cdot^{\circ}\text{C)}\cdot (75\text{ }^{\circ}\text{C} - 50\text{ }^{\circ}\text{C})} \approx 133\text{ kg}.$$

**Atsakymas.**  $m_v \approx 133\text{ kg}.$

### Užduotys

1. Kuris kuras – durpės ar mazutas – degdamas vienodomis sąlygomis gali išskirti daugiau šilumos? Atsakymą pagrįskite.
2. Kodėl medinę skalą galima uždegti vienu degtuku, o pliauskos – ne?
3. Norėdami užgesinti degtuką ar žvakę, į liepsną smarkiai pučiame. Kodėl?
4. Paaiškinkite, kodėl ant metalinės plokštės padėta įkaitusi žarija greitai gęsta, o ant medinės – smilksta.
5. Kiek šilumos išskiria visiškai sudegdamos 2 t žibalo?
6. Kiek šilumos išskiria visiškai sudegdami 20 l benzino?
7. Koks kiekis durpių gali pakeisti 1 t akmens anglių, kad sudegdamos išskirtų tiek pat šilumos?
8. Kiek reikia sudeginti mazuto, norint gauti 123 MJ šilumos?
9. Kiek vandens galima sušildyti 50 °C, sudeginus 100 g gamtinių dujų?
10. Keliais laipsniais pakils 10 kg vandens temperatūra, sudeginus 10 g žibalo? Tarkite, kad visa išsiskyrusi šiluma šildo tik vandenį.



## Skyriaus „Kūnų vidinė energija ir jos kitimas“ santrauka

Šiluminis judėjimas	Kūną sudarančių dalelių netvarkingas judėjimas vadinamas šiluminiu judėjimu.	
Vidinė energija [U] = 1 J	Kūną sudarančių dalelių netvarkingo judėjimo (kinetinė) ir sąveikos (potencinė) energija vadinama vidine energija. Kūnų vidinė energija gali kisti šiais būdais: <ul style="list-style-type: none"><li>• atliekant darbą (kai darbas atliekamas su kūnu, jo vidinė energija didėja, kai darbą atlieka pats kūnas, mažėja);</li><li>• perduodant šilumą:<ul style="list-style-type: none"><li>– šilumos laidumu,</li><li>– konvekcija,</li><li>– šilumos spinduliavimu.</li></ul></li></ul>	
Šilumos perdavimo (plitimo) būdai		
Šilumos laidumas	Konvekcija	Šilumos spinduliavimas
Šiluma plinta kietaisiais kūnais, skysčiais ir dujomis.	Šilumą perneša skysčių ir dujų srautai.	Nereikia jokių kūnų; šiluma plinta ne per medžiagas.
Šiluma perduodama iš šiltesnių to paties kūno vietų į šaltesnes arba iš šiltesnių kūnų į susiliečiančius su jais šaltesnius kūnus. Geriausi šilumos laidininkai yra metalai, prasčiausi – dujos.	Šilumą galima perduoti vamzdžiais, vandenynų srovėmis.	Tamsūs kūnai matiniu paviršiumi didesnę dalį spinduliuotės sugeria, todėl įšyla. Kūnai šviesiu ir blizgiu paviršiumi didesnę dalį spinduliuotės atspindi.
Šilumos kiekis $Q = cm(t_2 - t_1)$ [Q] = 1 J	Vidinės energijos kiekis, kurį kūnas gauna arba kurio netenka šilumos perdavimo būdu, vadinamas šilumos kiekiu. Norint apskaičiuoti šilumos kiekį, kurį kūnas gauna šildamas arba atiduoda aušdamas, reikia medžiagos savitąją šilumą padauginti iš kūno masės ir jo temperatūrų skirtumo.	
Medžiagos savitoji šiluma [c] = 1 J/(kg · °C)	Medžiagos savitoji šiluma rodo, kiek šilumos reikia vieno kilogramo medžiagos temperatūrai pakelti vienu laipsniu.	
Kuro degimo šiluma $Q = qm$ [Q] = 1 J [q] = 1 J/kg	Šilumos kiekis, kurį išskiria visiškai sudegdamas 1 kg kuro, vadinamas kuro degimo šiluma. Visiškai sudegdamas kuras išskiria šilumos kiekį, lygų degimo šilumos ir sudegusio kuro masės sandaugai.	

# Savikontrolės užduotys

1. Ar galima vienos kūno molekulės judėjimą vadinti šiluminiu judėjimu? Kodėl?

2. Ar galima visą kūno vidinę energiją paversti jo mechanine energija? Atsakymą pagrįskite.

3. Kuris požymis rodo, kad kūno vidinė energija padidėjo?

- A Padidėjusi kūno masė.
- B Padidėjusi kūno temperatūra.
- C Sumažėjusi kūno temperatūra.
- D Padidėjęs kūno judėjimo greitis.

4. Norint uždegti degtuką, reikia jo galvutę brūkštelėti į degtukų dėžutę. Kodėl?

5. Degtuką galima uždegti ne tik 4 uždavinyje nurodytu būdu, bet ir įkišant į žiebtuvėlio ar žvakės liepsną. Kas bendra tarp priežasčių, dėl kurių abiem atvejais užsiliepsnoja degtukas? Kuo jos skiriasi?

6. Kuriuose kūnuose susidaro konvekcinės srovės?

- A Kietuosiuose kūnuose.
- B Skysčiuose ir kietuosiuose kūnuose.
- C Skysčiuose ir dujose.
- D Dujose ir kietuosiuose kūnuose.

7. Į kurį dubenėlį: plieninį ar porcelianinį – turėtumėte pilti karštą sriubą, kad ji atauštų greičiau? Paaiškinkite kodėl.

8. Įvardykite būdą, kuriuo kiekvienu atveju perduodama šiluma (1.27 pav.).

9. Saulės atokaitoje guli dvi stiklinio butelio šukės: tamsi ir šviesi.

a) Kuriuo būdu saulės šiluma perduodama stiklinio butelio šukėms?

b) Kuri stiklinio butelio šukė yra karštesnė? Atsakymą pagrįskite.

c) Kuri stiklinio butelio šukė atspindi daugiau saulės energijos?

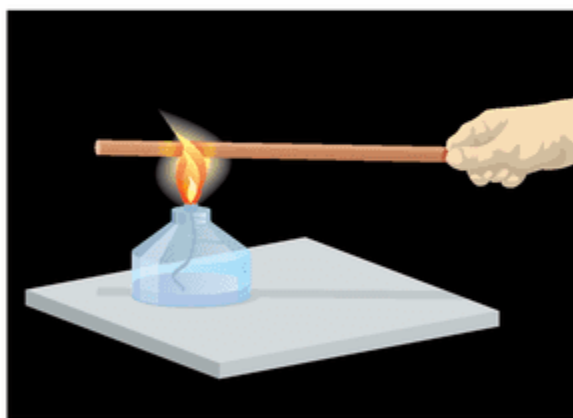
d) Kuri stiklinio butelio šukė, perkelta į pavėsį, atvės greičiau?

10. Į kibirą, kuriame buvo  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūros šalto vandens, įpilta  $1,5\text{ kg}$  verdančio vandens. Po tam tikro laiko kibire galiausiai nusistovėjo  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūra. Kiek kilogramų vandens kibire buvo iš pradžių?

11. Kiek kilogramų sausų beržinių malkų reikia sudeginti židinyje, kad išsiskirtų  $45\text{ MJ}$  šilumos? Malkų degimo šiluma  $1,0 \cdot 10^7\text{ J/kg}$ . Energijos nuostolių nepaisykite.



1.27 pav., a



1.27 pav., b



1.27 pav., c





# Š I L U M A

## 2 Medžiagos agregatinių būsenų kitimas

Šiame skyriuje prisiminsite medžiagos agregatines būsenas (kietąją, skystąją ir dujinę), susipažinsite su:

- šių būsenų kitimu – lydymusi, kietėjimu, garavimu, kondensacija, virimu;
- įvairia temperatūra (lydymosi, kietėjimo, virimo);
- lydymosi šilumos ir savitosios lydymosi šilumos sąvokomis;
- garavimo šilumos ir savitosios garavimo šilumos sąvokomis.



## 2.1. Medžiagos agregatinės būsenos

Žinome tris medžiagos būsenas: kietąją, skystąją ir dujinę. Jos dar vadinamos **agregatinėmis būsenomis** (lot. *agregatus* – prijungtas). Gamtoje neretai matome, kaip tos būsenos keičiasi. Ryškus jų kitimo pavyzdys yra vandens virsmai (2.1 pav.): pavasarį sniegas ir ledas tirpsta, vanduo nuo upių, ežerų ir kitų vandens telkinių paviršiaus garuoja, atvėsdami vandens garai sudaro debesis, virsta rasa, rūku, žiemą ežerų ir upių vanduo paviršiuje sušąla ir virsta ledu. Kintant temperatūrai, kinta ne tik vandens, bet ir daugelio kitų medžiagų būsena. Bendruoju atveju

būsenos kitimus galime pavaizduoti agregatinių virsmų schema (2.2 pav.).

Norėdami suprasti šiuos vyksmus, turime žinoti, kokiomis sąlygomis medžiaga yra vienokios ar kitokios būsenos, ko reikia, kad medžiagos būsena pasikeistų, t. y. kad vienos agregatinės būsenos medžiaga virstų kitos būsenos medžiaga. Prisiminkime, ką jau žinome apie medžiagos būsenas. Skirtingų būsenų tos pačios medžiagos molekulės yra visiškai vienodos. Medžiagos agregatinė būsena priklauso nuo molekulių tarpusavio padėties, judėjimo ir sąveikos:

Medžiagos būsena	Dalelių tarpusavio padėtis	Dalelių judėjimo pobūdis	Dalelių sąveika
Kietoji	Dalelės (molekulės ir atomai) išsidėsčiusios labai tvarkingai arti viena kitos	Kiekviena dalelė svyruoja apie pastovų tašką	Dalelės stipriai traukia viena kitą
Skystoji	Dalelės išsidėsčiusios glaudžiai, tačiau netvarkingai	Nuolat judėdamos dalelės nenutolsta viena nuo kitos dideliu atstumu	Dalelių tarpusavio trauka silpnesnė nei kietuosiuose kūnuose
Dujinė	Tarpai tarp molekulių daug didesni už pačias molekules	Molekulės laisvai juda visomis kryptimis	Molekulės beveik neveikia viena kitos



2.1 pav.



2.2 pav.



Norint kietąjį kūną paversti skysčiu, o skystį – dujomis, reikia suardyti dalelių išsidėstymo tvarką, įveikti jų traukos jėgas. Dėl to tenka atlikti darbą. O jį atliekant kūno vidinė energija didėja

(tai žymi plati raudona rodyklė 2.2 schemos viršuje). Dujoms virstant skysčiu, o skysčiui – kietuoju kūnu, atvirkščiai, energija išsiskiria, taigi kūno vidinė energija mažėja.

### Užduotys

1. Kokių trijų agregatinių būsenų gali būti ta pati medžiaga?
2. Nuo ko priklauso medžiagos agregatinė būsena?
3. Kaip kinta kūno vidinė energija, kai kietasis kūnas virsta skysčiu, o skystis – dujomis?
4. Kaip kinta kūno vidinė energija, kai dujos virsta skysčiu, o skystis – kietuoju kūnu?

## 2.2. Lydymasis

*Jau saulelė vėl atkopdama budino svietą  
Ir žiemos šaltos triūsus pargriaudama juokės.*

*Šalčių pramonės su ledais sugaišti pagavo,  
Ir putodams sniegs visur į nieką pavirto.*

*Kristijonas Donelaitis. „Metai“*

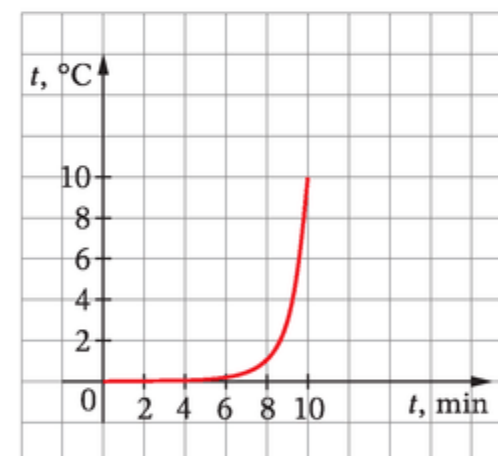
### Lydymosi samprata

Vaizdinga poetinė Kristijono Donelaičio frazė „putodams sniegs visur į nieką pavirto“ nusako vyksmą, kuris mokslo kalboje suprantamas kaip sniego, ledo tirpimas. Apskritai kalbėdami apie bet kurios kietosios medžiagos virsmą skystąja, vartojame **lydymosi** sąvoką.

Kad medžiaga imtų lydytis, ją reikia pakaitinti (padidinti vidinę energiją).

**Bandymas.** Į cheminę stiklinę įmeskime ledo gabaliuką, įpilkime truputį šalto vandens ir kaitinkime. Vienodais laiko tarpais matuokime vandens temperatūrą. Iš pradžių ji bus pastovi ir tik tada, kai ištirps visas ledas, pradės kilti. Bandymo rezultatus galime pavaizduoti grafiškai (2.3 pav.).

Kodėl, ledui tirpstant, temperatūra kurį laiką nekito, nors stiklinė buvo kaitinama? Tvarkingai išsidėsčiusias ledo molekules sieja labai stiprios sąveikos jėgos, todėl joms sumažinti reikia daug energijos. Ledą šildant, molekulės ėmė svyruo-



2.3 pav.

ti vis smarkiau. Tačiau dalis jų kinetinės energijos buvo eikvojama sąveikos jėgoms mažinti, t. y. molekulių potencinei energijai didinti. Dėl to molekulių greitis, taigi ir vidutinė kinetinė energija, nekito. Vadinasi, negalėjo kisti ir ledo temperatūra. Visą lydymosi laiką ji buvo pastovi. Kai molekulių išsidėstymo tvarka suiro (molekulės pradėjo judėti laisviau), ledas virto vandeniu. Taigi energija, kurią gavo tirpstantis

ledas, buvo eikvojama kristalui suardyti. Šiluma niekur nedingo – ji virto kaitinamo ledo vidine energija.

## Lydymosi temperatūra

Temperatūra, kurioje medžiaga lydosi, vadinama lydymosi temperatūra. Įvairių medžiagų ji yra skirtinga. Į šią savybę atsižvelgiama pasirenkant medžiagas mašinoms, įrankiams gaminti. Lentelėje pateikiame kai kurių medžiagų lydymosi temperatūros vertes.

### Kai kurių medžiagų lydymosi temperatūra

(kai atmosferos slėgis normalusis, t. y. lygus 760 mm Hg)

Medžiaga	Lydymosi temperatūra, °C
Degūonis	-219
Oras	-213
Azotas	-210
Ledas (vanduo)	0
Sviestas	28–33
Vazelinas	37–52
Parafinas	50–60
Vaškas	61–64
Stearinas	72
Alavas	232
Švinas	327
Gintaras	360
Aliuminis	660
Sidabras	962
Auksas	1064
Varis	1084
Plienas	1400
Geležis	1539

## Savitoji lydymosi šiluma

Bandymais nustatyta, kad vienodos masės įvairioms kietosioms medžiagoms paversti skysčiu reikia skirtingo šilumos kiekio. **Šilumos kiekis, kurio reikia 1 kg kietosios medžiagos paversti skysčiu jos lydymosi temperatūroje, vadinamas savitąja lydymosi šiluma.** Savitoji lydymosi šiluma dažniausiai žymima graikiška raide  $\lambda$  (tariame: „lambda“). Jos matavimo vienetas yra džaulis kilogramui:

$$[\lambda] = 1 \text{ J/kg.}$$

### Kai kurių medžiagų savitoji lydymosi šiluma

(esant lydymosi temperatūrai ir normaliajam atmosferos slėgiui)

Medžiaga	Savitoji lydymosi šiluma, J/kg
Aliuminis	$3,9 \cdot 10^5$
Ledas	$3,4 \cdot 10^5$
Geležis	$2,7 \cdot 10^5$
Varis	$2,1 \cdot 10^5$
Stearinas	$2,0 \cdot 10^5$
Volframas	$1,8 \cdot 10^5$
Vaškas	$1,7 \cdot 10^5$
Parafinas	$1,5 \cdot 10^5$
Cinkas	$1,1 \cdot 10^5$
Etilo alkoholis	$1,1 \cdot 10^5$
Sidabras	$8,7 \cdot 10^4$
Plienas	$8,4 \cdot 10^4$
Auksas	$6,7 \cdot 10^4$
Vandenilis	$5,9 \cdot 10^4$
Alavas	$5,9 \cdot 10^4$
Švinas	$2,5 \cdot 10^4$
Degūonis	$1,4 \cdot 10^4$
Gyvsidabris	$1,2 \cdot 10^4$



Ledo savitoji lydymosi šiluma  $3,4 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ , vadinasi, 1 kg ledo, kurio temperatūra  $0^\circ\text{C}$ , paversti tokios pat temperatūros vandeniu reikia  $3,4 \cdot 10^5 \text{ J}$  energijos. Taigi 1 kg  $0^\circ\text{C}$  temperatūros vandens vidinė energija yra  $3,4 \cdot 10^5 \text{ J}$  didesnė negu 1 kg tokios pat temperatūros ledo. Apskritai **kiekvienos skystosios medžiagos vidinė energija lydymosi temperatūroje yra didesnė negu tokios pat masės kietosios medžiagos.**

Žinodami, kiek šilumos reikia 1 kg medžiagos išlydyti jos lydymosi temperatūroje, kai atmosferos slėgis normalus, galime apskaičiuoti šilumos kiekį  $Q$ , reikalingą visam tos medžiagos bet kokios masės  $m$  kūnui išlydyti:

$$Q_{\text{lyd}} = \lambda m.$$

Tas šilumos kiekis yra vadinamas medžiagos **lydymosi šiluma**.

**Uždavinys.** Kiek šilumos reikia 2 kg ledo, kurio temperatūra  $-10^\circ\text{C}$ , ištirpinti?

$$\begin{aligned} m &= 2 \text{ kg} \\ t_1 &= -10^\circ\text{C} \\ t_2 &= 0^\circ\text{C} \\ c &= 4200 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)} \\ \lambda &= 3,4 \cdot 10^5 \text{ J/kg} \\ Q &= ? \end{aligned}$$

### Sprendimas

Pirmiausia  $-10^\circ\text{C}$  temperatūros ledas pašildomas iki  $0^\circ\text{C}$ , paskui ištirpinamas – paverčiamas  $0^\circ\text{C}$  temperatūros vandeniu. Ledui pašildyti reikia šilumos kiekio

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1),$$

o ištirpinti – šilumos kiekio

$$Q_2 = \lambda m.$$

### Užduotys

1. Kam naudojama energija, kuri suteikiama kūnui, kai jis lydos?
2. Ar lydysis švino gabaliukas, įmestas į išlydytą alavą?
3. Kambaryje yra du ledėšiai. Vienas jų apdengtas kailiniais. Kuris ledėšis ištirps greičiau?
4. Jeigu rūsyje pastatysime didelį indą su vandeniu, daržovės nesusals. Kodėl?

### Tai įdomu

\* Šaldomojo mišinio, susidedančio iš ledo (sniego) ir valgomosios druskos, temperatūra gali būti labai žema. Kai druska sumaišoma su ledu santykiu 3 : 1, mišinio tirpimo temperatūra siekia apie  $-18^\circ\text{C}$ .

\* Báltijos jūros vanduo užšąla, kai jo temperatūra nukrinta iki  $-0,5^\circ\text{C}$ .

\* Kadangi savitoji ledo lydymosi šiluma yra nepaprastai didelė ( $330 \text{ kJ/kg}$ ), tai, tirpstant sniegui ir ledui, nebūna staigių potvynių. (Potvynio mastas priklauso ir nuo sniego kiekio.)

\* Lydymosi temperatūra priklauso nuo slėgio. Kai jis didėja, vandens, bismuto, kietosios būsenos gyvsidabrio lydymosi temperatūra mažėja, kitų medžiagų – didėja.

\* Kalbėdami apie visas medžiagas, sakome, kad jos lydos, o ledas tirpsta.

Irašę dydžių vertes, gauname:

$$Q_1 = 4200 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)} \cdot 2 \text{ kg} \cdot (0^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C}) = 84\,000 \text{ J},$$

$$Q_2 = 3,4 \cdot 10^5 \text{ J/kg} \cdot 2 \text{ kg} = 6,8 \cdot 10^5 \text{ J}.$$

Visas ledui suteiktas šilumos kiekis

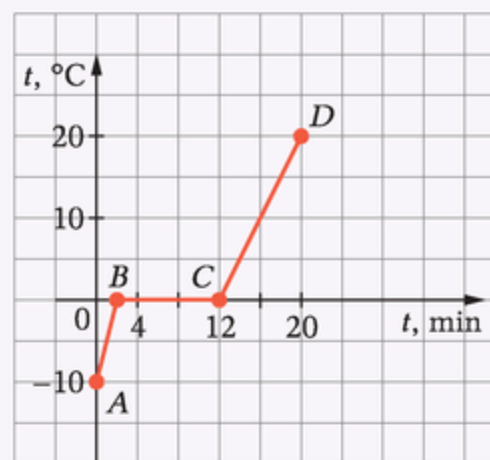
$$Q = Q_1 + Q_2;$$

$$Q = 84\,000 \text{ J} + 6,8 \cdot 10^5 \text{ J} = 764\,000 \text{ J} = 764 \text{ kJ}.$$

**Atsakymas.**  $Q = 764 \text{ kJ}$ .



5. Kodėl žiemą, nepaisant žalos gamtai, šaligatviai barstomi mišiniu, kuriame yra valgomosios druskos?
6. 1 kg masės alumininis ir švininis rutuliai įkaitinti iki jų lydymosi temperatūros. Kuriam rutuliui išlydyti reikės daugiau energijos? Kiek kartų daugiau?
7. Kiek šilumos reikia ištirpinti 1,5 kg ledo, kurio temperatūra:
  - a)  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;      b)  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
8. 3 kg ledo gabalo temperatūra  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kiek šilumos reikia jam ištirpinti ir gautam vandeniui sušildyti iki  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
9. 2.4 paveiksle pavaizduota, kaip priklauso tolygiai kaitinamo kūno temperatūra nuo laiko. Atmosferos slėgis normalus.
  - a) Kurios medžiagos kūnas buvo kaitinamas?
  - b) Kokius procesus atitinka grafiko dalys AB, BC ir CD?
  - c) Kurias agregatines būsenas žymi taškai A ir D?



2.4 pav.

- 10\*. Tirpstantis ledas atneštas į patalpą, kurios temperatūra  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ar tirps ledas šioje patalpoje?
11. Iš stačiakampio gretasienio formos švino gabaliuko, kurio matmenys  $2\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ , o temperatūra  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nulietas rutulys. Kiek šilumos tam sunaudota?

## 2.3. Kietėjimas

### Kietėjimo temperatūra

Skystajai medžiagai vėstant, vyksta lydymuisi atvirkščias vyksmas – skystosios medžiagos virsmas kietąja (pavyzdžiui, vandens virsmas ledu). Jis vadinamas **kietėjimu**.

Skystoji medžiaga pradeda kietėti tik atvėsus iki tam tikros temperatūros ir visą kietėjimo laiką ta temperatūra nekinta. Kodėl? Medžiagai kietėjant, dalelių greitis, taigi ir kinetinė energija, mažėja. Traukos jėgų pakanka lėčiau judančioms dalelėms išlaikyti vieną prie kitos ir jos pamažu išsidėsto tvarkingai. Tačiau kietėdama medžiaga išskiria energiją, kuri papildo prarastą kinetinės energijos dalį. Dėl to kūnas neaušta, o vidutinė dalelių energija nesikeičia. Ji palaiko pastovią kūno temperatūrą.

Temperatūra, kurioje medžiaga kietėja, vadinama **kietėjimo temperatūra**. Ji lygi tos medžiagos lydymosi temperatūrai (žr. lentelę p. 33).

Tikslūs bandymai rodo, kad **kietėdamas kristalinis kūnas išskiria tiek pat šilumos, kiek jos suvartoja lydydamasis** (pavyzdžiui, vandens kietėjimo savitoji šiluma lygi ledo lydymosi savitajai šilumai). Šilumos kiekis, kuris išsiskiria kietėjant medžiagai, apskaičiuojamas pagal formulę

$$Q_{\text{kiet}} = -\lambda m.$$

Minuso ženklą formulėje rašome dėl to, kad medžiaga atiduoda šilumą.



## Tūrio kitimas

Kai medžiaga lydosi arba kietėja, kinta jos tūris.

**Bandymas.** Uždekime žvakę. Po kurio laiko aplink dagtį buvusi duobutė prisipildo ištirpusio parafino. Jo paviršius yra horizontalus (2.5 pav., a). Užpūtus žvakę, ištirpęs parafinas netrukus sukieta ir prie pat dagties vėl įdumba (2.5 pav., b). Akivaizdu, kad auštančio parafino tūris mažėja.

Daugelio lydomų kūnų tūris didėja, o kietėjančių mažėja. Išimtis yra vanduo. (Prisiminkite VII klasėje nagrinėtus vandens šiluminio plėtimosi ypatumus.) Sušalusio į ledą vandens tūris padidėja apie 10 %. Ledo tankis mažesnis negu vandens, todėl jo lytys ne skęsta, o plūduriuoja (2.6 pav.). Dėl šios vandens savybės skilinėja asfaltuota kelių danga, kietos kalnų uolos. Jas suardo į plyšius patekęs vanduo, kuris sušaldamas plečiasi.



2.5 pav., a



2.5 pav., b



2.6 pav.

### Tai įdomu

\* Šalančio vandens ypatumus galima pritaikyti ankšties batams ištempti. Į batus reikia įdėti sandarius plastikinius maišelius, pripilti juos vandens, o jį sušaldyti. Plėsdamasis ledas ištempa batus.

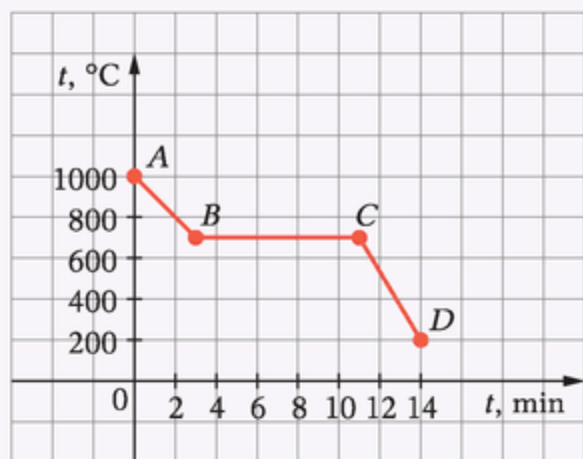
\* Lijūndra – ant žemės paviršiaus ir įvairių daiktų (pavyzdžiui, medžių, laidų) užšalantis lietus, dulksna, rūko lašeliai.

\* Plūkledis – po šlapdribo, lietaus, lijundros arba atodrėkio ant žemės ir kitų paviršių užšalęs ledas, o keliuose – suledėjęs ir nuslidintas sniegas.

### Užduotys

1. Kai temperatūra lygi  $0^{\circ}\text{C}$ , sušąla vanduo ir tirpsta ledas. Kokių sąlygų reikia, kad vyktų šie reiškiniai?
2.  $2\text{ m}^3$  vandens virsta  $0^{\circ}\text{C}$  temperatūros ledu. Kiek šilumos išsiskiria?
3. Iš vario nulieta detalė kietėdama išskyrė  $315\text{ kJ}$  šilumos. Kiek vario sunaudota detalei nulieti?
4. Kuriuo atveju išsiskirs daugiau energijos: kietėjant  $2\text{ kg}$  aliuminio ar  $6\text{ kg}$  geležies? Abi medžiagos yra skystos, o jų temperatūra lygi lydymosi temperatūrai.
5. Detalei nulieti sunaudota  $1,5\text{ kg}$  skystos geležies. Kiek šilumos išskyrė ši detalė, kietėdama ir aušdama iki  $39^{\circ}\text{C}$ ?





2.7 pav.

6. 2.7 paveiksle pavaizduotas auštančio aliuminio kietėjimo grafikas. Kokius vyksmus at-

tinka jo dalys AB, BC ir CD? Kiek laiko truko kiekvienas vyksmas?

- 7\*.  $2 \text{ m}^2$  ploto balą dengia 2 cm storio ledo sluoksnis. Kiek šilumos išskyrė sušaldamas balos vanduo?
8. Stiklinį butelį pripylėme vandens, užkimšome ir palikome žiemą lauke. Rytojaus dieną žiūrime – vanduo sušalęs į ledą, o butelis sušprogęs. Kodėl taip atsitiko?
9. Kodėl rudenį reikia išleisti vandenį iš daržo laistymo sistemos vamzdžių?
10. Sklidinoje vandens stiklinėje plūduriuoja ledėsis. Ar išsilies vanduo per stiklinės kraštus, kai ledas ištirps?

## 2.4. Garavimas ir kondensacija

### Garavimas

Apie garavimą girdime iš mažens. Garai yra dujinė medžiagų būseną. Jie nematomi. Tad ką matome žiūrėdami į garuojančią arbatą arba sriubą, sukaitusį arklį ir kt.?

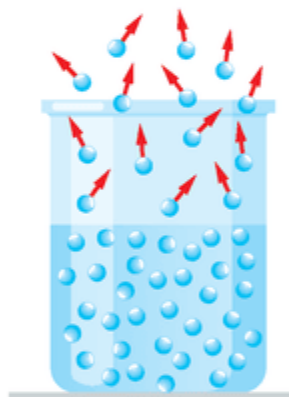
Ilgokai verdamos sriubos puode pastebimai sumažėja. Lėkštelėje ar stiklinėje ilgai laikomo vandens kiekis irgi mažėja, galiausiai induose jo visiškai nelieta.

**1 bandymas.** Šlapia kempine nušluostykime klasės lentą. Ji gana greitai nudžiūsta.

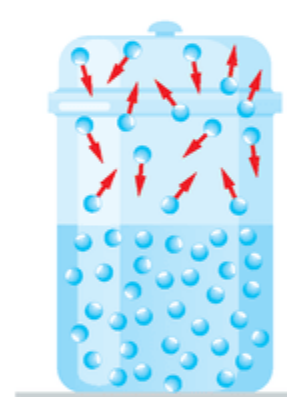
**2 bandymas.** Elektrinę šildymo spiralę pakabinkime ant stovo ir įmerkime į stiklinę vandens, pastatytą ant svarstyklių lėkštės. Svarsčiais



2.8 pav.



2.9 pav., a



2.9 pav., b

išlyginkime svarstyklės (2.8 pav.). Įjungę spiralę, vandenį užvirinkime. Po kurio laiko svarstyklių pusiausvyra sutriks. Net plika akimi pamatysime, kad vandens stiklinėje sumažėjo.

Visais šiais atvejais skysčiai (sriuba ir vanduo) garavo, nors garų ir nebuvo matyti.

**Garavimu vadinamas skysčio virsmas dujine medžiaga (garais) skysčio paviršiuje.**

Išsiaiškinkime, kaip vyksta šis reiškinys. Žinome, kad skysčio molekulės nuolat juda įvairiu greičiu. Greičiausios, atsidūrusios skysčio paviršiuje, įveikia gretimų molekulių trauką ir išlekia iš jo į orą nematomais garais (2.9 pav., a). Taip atvirame inde skysčio pamažu nelieta – jis išgaruoja. Jeigu indas uždaras, dalis molekulių į skystį sugrįžta (2.9 pav., b). Netrukus iš skys-



čio išlekiančių molekulių skaičius pasidaro lygus grįžtančių molekulių skaičiui, todėl skysčio masė uždarame inde nemažėja.

## Garavimo sparta

Nuo ko priklauso garavimo sparta?

*Skysčio garavimo sparta priklauso nuo skysčio rūšies.*

**3 bandymas.** Ant popieriaus lapo skirtingose vietose užlašinkime vandens, eterio ir aliejaus (žibalo). Matome, kad pirmiausia išgaruoja eteris, paskui – vanduo, o aliejaus lašas taip ir lieka ant popieriaus. Greičiau išgaruoja tie skysčiai, kurių molekulės silpniau sąveikauja viena su kita.

*Skysčio garavimo sparta dar priklauso nuo skysčio paviršiaus ploto.* Kuo jis didesnis, tuo greičiau garuoja skystis, nes tuo pat metu iš jo į orą išlekia daugiau molekulių. Jei į stiklinę ir lėkštę įpilsime po tiek pat vandens, iš lėkštės jis išgaruos kur kas greičiau. Tai patvirtino ir 1 bandymas – nuo didelio lentos paviršiaus vanduo išgaravo gana greitai.

*Skysčio garavimo sparta priklauso ir nuo jo temperatūros.* Karštas skystis garuoja sparčiau negu šaltas, mat jo molekulės juda greičiau ir daugiau jų gali atsiskirti nuo skysčio paviršiaus. Dėl to žemė po lietaus greičiau išdžiūsta karštą vasarą negu vėsų rudenį.

*Skysčio garavimo spartai turi įtakos vėjas.* Skystis išgaruos greičiau, jei pūsdami išsklaidysime



2.10 pav.

virš jo paviršiaus esančius garus (2.10 pav.). Taip pašalinsime virš skysčio esančias molekules ir jų vietą greičiau galės užimti kitos, išlekiančios iš skysčio.

Iš garuojančio skysčio išlekia greičiausios molekulės, o likusiųjų inde vidutinis greitis sumažėja. Dėl to skysčio temperatūra krinta. Vadinausi, **garuodamas skystis vėsta**. Antai, išlipę iš vandens, net ir karštą dieną jaučiame vėsą. Tai vanduo, esantis ant mūsų kūno paviršiaus, garuodamas pasiima dalį jo šilumos.

## Kondensacija

Vyksta ir atvirkščias garavimui procesas. Kai kurios molekulės, esančios virš skysčio, į jį grįžta ir garai virsta skysčiu. **Garų virsmas skysčiu vadinamas kondensacija** (lot. *condensatio* – sutirštinimas). **Kondensuodamiesi garai išskiria šilumą.**

**4 bandymas.** Kaitinkime vandenį kolboje, kuri užkimšta kamščiu, o jame įstatytas stiklinis vamzdelis ar guminė žarnelė. Iš vamzdelio sklindančius garus nukreipkime į stiklinę plokštelę (2.11 pav.). Plokštelė aprasoja.



2.11 pav.



### Tai įdomu

✳ Garuoti gali ir kietosios medžiagos. Kietųjų kūnų garavimas vadinamas sublimacija.

✳ Per metus iš  $1 \text{ m}^2$  vandenyne paviršiaus išgaruoja apie  $1 \text{ m}^3$  vandens, iš  $1 \text{ m}^2$  sausumos – apie  $0,5 \text{ m}^3$  vandens.

✳ Per metus iš Žemės rutulio paviršiaus išgaruoja maždaug  $500\,000 \text{ km}^3$  vandens. Tiek pat jo grįžta lietaus, sniego ir kitokiu pavidalu.

✳ Žmogaus savijauta priklauso nuo vandens garų kiekio ore. Geriausia, kai viename kubiniame metre oro

yra apie 10 g vandens garų. Klasėje, kurios ilgis 10 m, plotis 5 m ir aukštis 3 m, yra apie 1,5 kg vandens garų, o tai tolygu 1,5 l vandens.

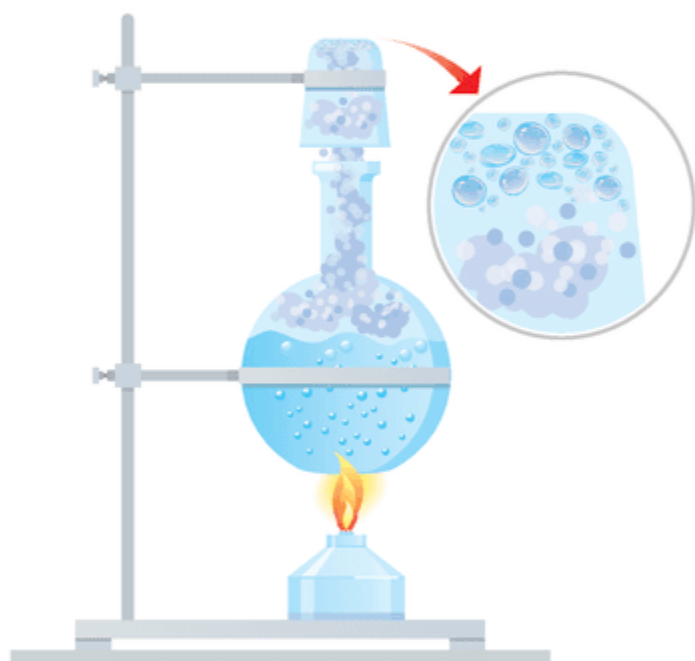
✳ Mūsų kūno temperatūrą reguliuoja vandens (kartu su druskomis ir kitomis medžiagomis) garavimas iš organizmo, t. y. prakaitavimas. Vanduo išgaruoja per odą, ir mūsų kūnas vėsta, taip apsaugodamas nuo perkaitimo. Skersvėjis garavimą gerokai paspartina, dėl to galima greitai persišaldyti.

✳ Šuo nuo karščio ginasi lekuodamas, t. y. kvėpuo-

damas iškišęs liežuvį, nes prakaituoti jam trukdo kailis. Garuodamos seilės atvėsina gyvūną ir jis neperkaista.

✳ Išgarintas 1 l vandens normaliojo slėgio sąlygomis sudaro 1700 l  $100^\circ\text{C}$  temperatūros vandens garų.

✳ Garai yra blogi šilumos laidininkai. Pavyzdžiui, užlašinti ant įkaitusio metalo vandens lašai pradeda intensyviai judėti. Tarp lašo ir karšto pagrindo (skardos lakšto) atsiranda garų sluoksnis, trukdantis skysčiams garuoti.



2.12 pav.

Toks reiškinys vyksta, kai papučiamo į akinų stiklus ar veidrodį. Iš plaučių iškvėptame ore esantys vandens garai ant stiklo kondensuojasi. Jeigu virš verdančio vandens palaikysime apverstą stiklinę, jos sienelės aprasos (2.12 pav.).

Dabar galime atsakyti į skyrelio pradžioje iškeltą klausimą. Virdami sriubą ar stebėdami šaltu oru sukaitusį arkli, matome ne garus (jie nematomi), o smulkius vandens lašelius, susidariusius susikondensavus garams. Vandens garų kondensacija paaiškinamas rasos, rūko ir debesų susidarymas.

### Užduotys

1. Kodėl odekolonui ir kvėpalams gaminti naudojamas alkoholis?
2. Kodėl riebi sriuba vėsta labai lėtai?
3. Kodėl gyvsidabrio negalima laikyti neužkimštuose induose? Kodėl reikia kruopščiai surinkti iš sudužusio termometro pasklidusius gyvsidabrio lašelius?
4. Kodėl džiovinimui skirtos daržovės ar vaisiai pjaustomi plonais griežinėliais?
5. Ką daryti, kad atvira inde laikomas vanduo neišgaruotų?
6. Kodėl skysčiai garuoja bet kokioje temperatūroje?
7. Paaiškinkite, kodėl garuojančio skysčio temperatūra mažėja.
8. Suvilgę veidą odekolonu, jaučiame vėsq. Palei odekolonu suvilgytą veidą pamosavus ranka, pasidaro dar vėsiau. Kodėl?



9. Ilgesnį laiką avint drėgną avalynę ar vilkint šlapiais drabužiais, galima persišaldyti. Paaiškinkite kodėl.

10. Kodėl reikia gerai vėdinti patalpą, kurioje džiovinami skalbiniai?

11. Kuriame inde – moliniame ar plastikiniame – pasodintas gėles reikia laistyti dažniau? Paaiškinkite kodėl.

12. Susidarant debesims, oras atvėsta ar sušyla? Atsakymą pagrįskite.

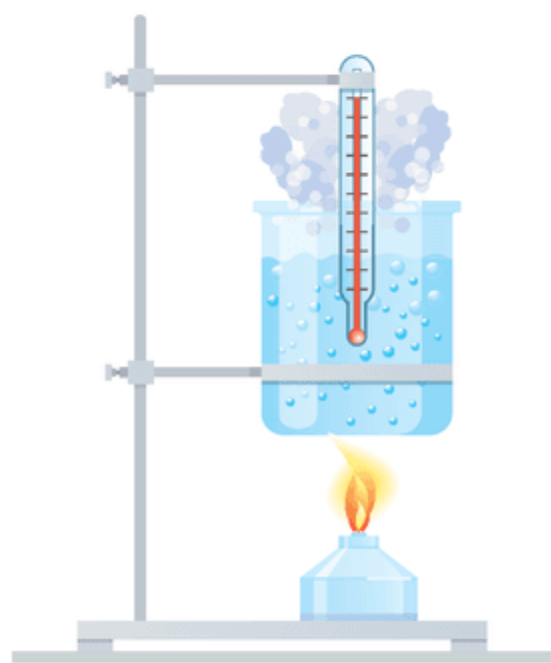
## 2.5. Virimas

### Virimo samprata

Garai gali susidaryti ne tik virš skysčio paviršiaus, bet ir viduje ir išsiveržti iš skysčio.

**1 bandymas.** Cheminėje stiklinėje kaitinkime vandenį ir stebėkime termometro rodmenis (2.13 pav.). Šylančio vandens temperatūra kyla. Stiklinės sienelės aplimpa smulkiais burbuliukais. Juose – vandenyje ištirpęs oras ir šildomo vandens garai. Toliau kaitinant vis daugiau garų patenka į burbuliukų vidų. Šie plečiasi, kartu didėja juos stumianti į paviršių Archimedo jėga. Kai pasiekama tam tikra temperatūra ir garų slėgis burbuliukuose susilygina su atmosferos (išoriniu) slėgiu, jie ima intensyviai veržtis į paviršių ir ten sprogs. Burbuliuke esantys vandens garai išeina į orą. Sakome: „Vanduo verda.“ Termometras rodo, kad verdančio vandens temperatūra nekinta.

Panašiai verda ir kiti skysčiai. Taigi **virimas yra skysčio virsmas garais skysčio viduje.**



2.13 pav.

### Virimo temperatūra

Garuoja bet kokios temperatūros skystis, tačiau verda jis tik įkaitintas iki jam būdingos pastovios temperatūros. **Temperatūra, kurioje skystis verda, vadinama virimo temperatūra.** Verdančio vandens temperatūros pastovumą galima paaiškinti taip. Iš kaitinamo vandens išlekia greičiausios molekulės. Labiau kaitinant, molekulių kinetinė energija didėja ir daugiau molekulių išlekia iš vandens, tačiau vidutinė vidinė jo energija nepakinta – juk dalis molekulių kinetinės energijos eikvojama sąveikos jėgoms mažinti, t. y. molekulių potencinei energijai didinti.

#### Kai kurių medžiagų virimo temperatūra

(esant normaliajam 760 mm Hg atmosferos slėgiui)

Medžiaga	Virimo temperatūra, °C
Vandenilis	-253
Oras	-193
Deguonis	-183
Eteris	35
Etilo alkoholis	78
Vanduo	100
Glicerolis	290
Gyvsidabris	357
Švinas	1740



Medžiaga	Virimo temperatūra, °C
Sidabras	2212
Alavas	2270
Aliuminis	2467
Varis	2567
Geležis	2750

Iš lentelės matyti, kad, pavyzdžiui, mums labiausiai pažįstamos medžiagos – vandens – virimo temperatūra lygi 100 °C. Tačiau tokia ji yra tik tada, kai atmosferos slėgis normalus. Slėgiui keičiantis, kinta ir vandens (apskritai visų skysčių) virimo temperatūra. **Kuo didesnis slėgis, tuo aukštesnė virimo temperatūra.**



2.14 pav.

**2 bandymas.** Apvalioje kolboje užvirinkime vandenį. Nustoję kaitinti, ją užkimškime, apverskime ir įtvirtinkime stove. Dabar ant kolbos pilkime šaltą vandenį. Kolboje esantis vanduo vėl užvirs (2.14 pav.). Kolboje virš vandens esantys



2.15 pav.

garai, veikiami šalto vandens, kondensavosi, jų slėgis sumažėjo ir šiek tiek jau atvėsęs vanduo užvirs žemesnės negu 100 °C temperatūros.

Aukštai kalnuose, kur slėgis mažas, atviruose induose sunku išsivirti maisto, nes vanduo užverda sušilęs iki žemesnės temperatūros, o jos nepakanka produktams suminkštėti. Pavyzdžiui, Džomolūngmos kálno (Himalājai) viršūnėje vanduo užverda jau esant 70 °C temperatūrai.

Kai skystis verdamas uždaramame inde, jo slėgis padidėja, taigi pakyla ir virimo temperatūra. Tuo pagrįstas greitpuodžių (2.15 pav.) veikimas. Vanduo juose užverda maždaug 120 °C temperatūros. Greitpuodžiai taupo energiją ir laiką. Kad slėgis juose pernelyg nepadidėtų, įtaisomi apsauginiai vožtuvai. Jų spyruoklė laiko angą dengiančią sklendę. Jei garų slėgimo jėga pasidaro didesnė už spyruoklei suspausti reikalingą jėgą, sklendė atsidaro ir slėgis sumažėja. Vožtuvų gali būti ir kitokios konstrukcijos.

## Savitoji garavimo šiluma

Įvairiems vienodos masės virimo temperatūros skysčiams paversti garais reikia skirtingo šilumos kiekio. **Šilumos kiekis, kurio reikia 1 kg virimo temperatūros skysčio paversti garais, vadinamas savitąja garavimo šiluma.** Ji daž-

niausiai žymima raide  $L$ . Savitosios garavimo šilumos matavimo vienetas yra džaulis kilogramui:

$$[L] = 1 \text{ J/kg}.$$

Lentelėje pateikiame kai kurių medžiagų savitosios garavimo šilumos vertes.



## Kai kurių medžiagų savitoji garavimo (kondensacijos) šiluma

(esant virimo temperatūrai ir normaliajam 760 mm Hg atmosferos slėgiui)

Medžiaga	Savitoji garavimo šiluma, J/kg	Medžiaga	Savitoji garavimo šiluma, J/kg
Azotas	$0,201 \cdot 10^6$	Eteris	$0,4 \cdot 10^6$
Žibalas	$0,21 \cdot 10^6$	Vandenilis	$0,45 \cdot 10^6$
Deguonis	$0,214 \cdot 10^6$	Etilo alkoholis	$0,9 \cdot 10^6$
Benzinas	$0,230 \cdot 10^6$	Amoniakas	$1,36 \cdot 10^6$
Gyvsidabris	$0,293 \cdot 10^6$	Vanduo	$2,3 \cdot 10^6$

Žinant savitąją garavimo šilumą, nesunku apskaičiuoti šilumos kiekį  $Q$ , reikalingą bet kokios masės  $m$  virimo temperatūros skysčiui išgarinti, kai atmosferos slėgis normalus:

$$Q_{\text{gar}} = Lm;$$

čia  $L$  – savitoji garavimo šiluma.

Garams kondensuojantis, išsiskiria tiek pat energijos, kiek jos reikėjo garams susidaryti, todėl pagal šią formulę (tik su minuso ženklu!) apskaičiuojamas ir šilumos kiekis, kurį išskiria kondensuodamiesi garai. Žinodami, kad skysčio paviršius garuoja įvairiomis temperatūros sąlygomis, o garavimas priklauso nuo temperatūros, galėtume apskaičiuoti šilumos kiekį, kurio reikia bet kokios temperatūros skysčiui išgarinti.

**Uždavinys.** Eimantas užkaitė 0,75 l 20 °C temperatūros vandens arbatai ir pamiršo ant viryklės kaistantį virdulį. Kai jį prisiminė, 0,25 l vandens jau buvo išgaravę. Kiek šilumos buvo sunaudota? Kiek šilumos dėl Eimanto užmaršumo išėkvota veltui?

$$V_1 = 0,75 \text{ l} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,25 \text{ l} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 4200 \text{ J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$Q - ?$$

$$Q_2 - ?$$

### Sprendimas

Vandeniui užvirinti sunaudotas šilumos kiekis

$$Q_1 = cm_1(t_2 - t_1) = c\rho V_1(t_2 - t_1);$$

$$Q_1 = 4200 \text{ J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,75 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot (100 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}) = 252\,000 \text{ J}.$$

0,25 l vandens išgarinti reikėjo šilumos kiekio

$$Q_2 = Lm_2 = L\rho V_2;$$

$$Q_2 = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J/kg} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,25 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,575 \cdot 10^6 \text{ J} = 575\,000 \text{ J}.$$

Visas šilumos kiekis

$$Q = Q_1 + Q_2;$$

$$Q = 252\,000 \text{ J} + 575\,000 \text{ J} = 827\,000 \text{ J} = 827 \text{ kJ}.$$

Veltui išėkvota 575 kJ šilumos, taigi net 2 kartus daugiau, negu reikėjo vandeniui užvirinti ( $575 \text{ kJ} : 252 \text{ kJ} \approx 2$ ). Yra apie ką pamąstyti Eimantui ir tiems, kurie elgiasi panašiai!

**Atsakymas.**  $Q = 827 \text{ kJ}$ ;  $Q_2 = 575 \text{ kJ}$ .

### Tai įdomu

★ Kosmonautai į atvirą erdvę gali išeiti tik su specialiais kostiumais, palaikančiais organizmui įprastą slėgį. Be jų žmogaus kraujas užvirtų, nors kūno temperatūra būtų normali.

✳️ Panašus pavojus gresia ir narams, ilgesnį laiką dirbusiems didelėse gelmėse – staigiai iškilus į vandens paviršių, kraujyje ištirpusio azoto burbuliukai gali užkimšti kraujagysles.

✳️ Per karščius galėtume atsigaivinti ir verdančiu vandeniu, jei atmosferos slėgis siektų tikrai 10–15 mm Hg. Tada vandens

virimo temperatūra būtų apie 10–15 °C.

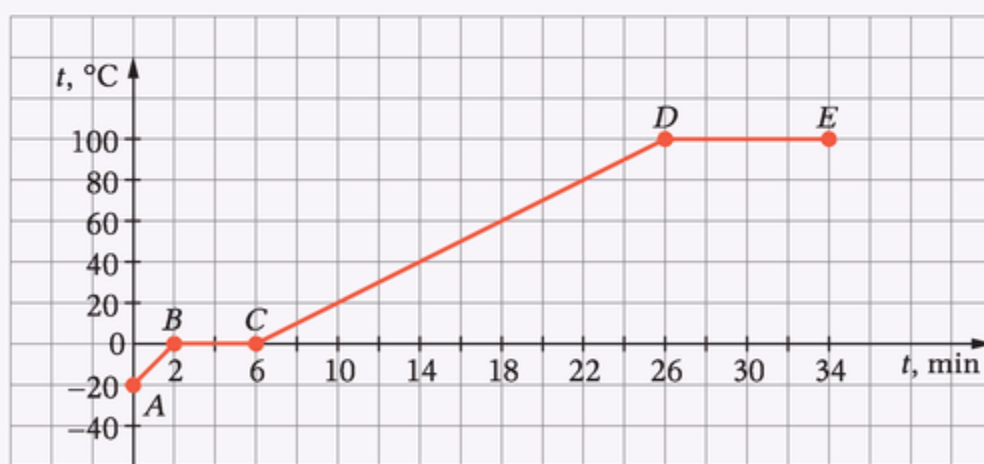
✳️ Vandeni galima užvirinti ir 0 °C temperatūroje, tik reikia slėgį sumažinti iki 4,6 mm Hg.

✳️ Maistą virti patariama ant silpnos ugnies. Užvirus liepsna sumažinama. Dėl to virimo temperatūra nesumažėja, o elektros arba dujų sutaupoma.

✳️ Vandens savitoji garavimo šiluma, t. y. energija, reikalinga 1 kg verdančio vandens normaliomis sąlygomis paversti 100 °C temperatūros garais, yra 2258 kJ/kg (lentelėje šis skaičius suapvalintas). Toks šilumos kiekis gali 539 kg vandens temperatūrą pakelti 1 °C.

## Užduotys

1. Kuo virimas skiriasi nuo garavimo?
2. Paaiškinkite, kodėl verdančiame vandenyje atsiradę oro burbuliukai kyla aukštyn.
3. Kam sunaudojama energija, kurią skystis gauna virdamas?
4. Kodėl rasoja virtuvių langai?
5. Kodėl žiemą matyti, kai žmogus iškvepia orą, o vasarą – ne?
6. Paaiškinkite, kodėl vanduo gesina ugnį.
7. Kaip manote, kodėl žiemą šaltyje galima išdžiovinti drabužius?
8. 2.16 paveiksle pateiktas tolygiai kaitinamo vandens temperatūros kitimo grafikas. Ką vaizduoja jo atkarpos AB, BC, CD ir DE?
9. Kiek šilumos reikia 5 kg vandens, kurio temperatūra 20 °C, sušildyti iki 100 °C ir išgarinti?
10. Kodėl, užvirinant vandenį arbatinuke, uždegiamas jo dangtis?
11. Užvirinta ir išgarinta 100 ml 18 °C temperatūros etilo alkoholio. Jo tankis 0,8 g/cm<sup>3</sup>. Kiek tam prireikė šilumos?
12. Kiek šilumos reikia 2 kg ledo sušildyti nuo –10 °C iki tirpimo temperatūros, ištirpinti, gautam vandeniui užvirinti ir išgarinti?
13. Kiek šilumos išskiria kondensuodamasis 1 kg 100 °C temperatūros vandens garų ir susidaręs vanduo atvėsdamas iki 20 °C temperatūros?



2.16 pav.



## Skyriaus „Medžiagos agregatinių būsenų kitimas“ santrauka

Lydimasis	Kietosios medžiagos virsmas skystąja vadinamas lydymusi. Temperatūra, kurioje medžiaga lydosi, vadinama lydymosi temperatūra.
Kietėjimas	Skystosios medžiagos virsmas kietąja vadinamas kietėjimu. Temperatūra, kurioje medžiaga kietėja, vadinama kietėjimo temperatūra. Ji lygi tos medžiagos lydymosi temperatūrai.
Lydymosi šiluma $Q_{\text{lyd}} = \lambda m$ $[Q_{\text{lyd}}] = 1 \text{ J}$ $[\lambda] = 1 \text{ J/kg}$	Šilumos kiekis, reikalingas bet kurios masės medžiagai išlydyti jos lydymosi temperatūroje, vadinamas lydymosi šiluma. Lydymosi šiluma lygi kietėjimo šilumai. Šilumos kiekis, kurio reikia 1 kg kietosios medžiagos paversti skysčiu jos lydymosi temperatūroje, vadinamas savitąja lydymosi šiluma. Savitoji lydymosi šiluma lygi savitajai kietėjimo šilumai.
Garavimas	Garavimu vadinamas skysčio virsmas garais skysčio paviršiuje.
Kondensacija	Garų virsmas skysčiu vadinamas kondensacija.
Virimas	Skysčio virsmas garais skysčio viduje vadinamas virimu. Temperatūra, kurioje skystis verda, vadinama virimo temperatūra.
Garavimo šiluma $Q_{\text{gar}} = Lm$ $[Q_{\text{gar}}] = 1 \text{ J}$ $[L] = 1 \text{ J/kg}$	Šilumos kiekis, reikalingas bet kurios masės medžiagai išgarinti jos virimo temperatūroje, vadinamas garavimo šiluma. Garavimo šiluma lygi kondensacijos šilumai. Šilumos kiekis, kurio reikia 1 kg virimo temperatūros skysčio paversti garais, vadinamas savitąja garavimo šiluma. Savitoji garavimo šiluma lygi savitajai kondensacijos šilumai.
Keičiantis agregatinei būsenai, kūno temperatūra nekinta.	
Agregatinių būsenų kitimas	
Reiškinys	Reiškinio paaiškinimas
Šildomo kietojo kūno temperatūra kyla iki jo lydymosi taško	Teikiama šiluma didina kūno vidinę energiją, dėl to dalelės juda vis intensyviau.
Kaitinamas kietasis kūnas lydosi, bet jo temperatūra nekinta	Energija, kurią gauna šildomas kūnas, naudojama dalelių sąveikos jėgoms nugalėti (dalelių potencinei energijai didinti). Dalelės pasidaro laisvesnės ir kietasis kūnas virsta skysčiu. Dalelių vidutinė kinetinė energija nekinta.
Šildomo skysčio temperatūra kyla iki virimo taško	Teikiama šiluma didina skysčio dalelių judėjimo energiją. Dėl to skysčio temperatūra didėja.
Virdamas skystis garuoja, bet jo temperatūra nekinta	Didelė dalis energijos, kurią gauna šildomas skystis, naudojama jo dalelių sąveikos jėgoms nugalėti. Susilpnėjus dalelių ryšiams, skystis virsta garais. Dalelių vidutinė kinetinė energija tuo metu nekinta.
Kūnui atiduodant šilumą, vyksta atvirkštiniai procesai.	

# Savikontrolės užduotys

1. Kurios rūšies energija virsta energija, kurią kūnas gauna lydydamasis?

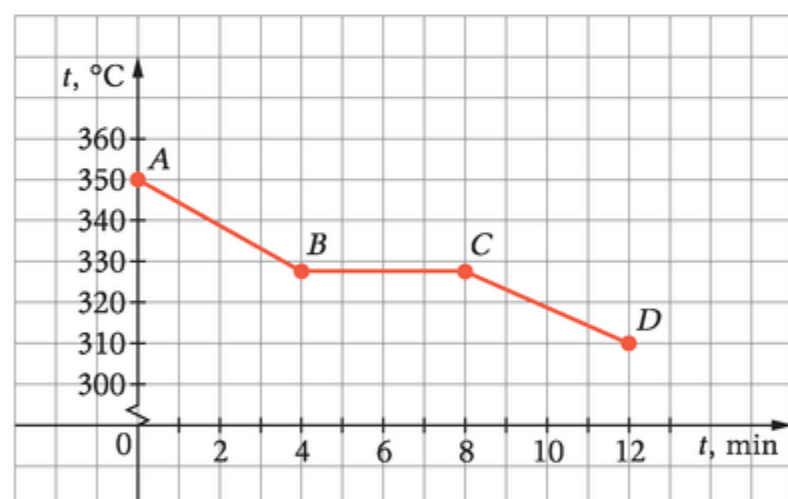
- A Potencine energija.
- B Kinetine energija.
- C Vidine energija.
- D Mechanine energija.

2. 0,5 kg masės ledo gabalo temperatūra yra 0 °C. Kiek šilumos reikia:

- a) jam ištirpinti;
- b) gautam vandeniui užvirinti?

3. 2.17 paveiksle pavaizduotas aušinamo švino temperatūros kitimo grafikas.

- a) Kokią agregatinę būseną atitinka jo dalys AB, BC ir CD?
- b) Kokius vyksmus vaizduoja kiekviena grafiko atkarpa?
- c) Kaip vadinamas pavaizduotas virsmas ir kiek jis truko?
- d) Nustatykite švino lydymosi temperatūrą.



2.17 pav.

4. Kodėl į krūvą sudėti skalbiniai džiūsta labai lėtai?

5. Kodėl, išplovus grindis, kambaryje pasidaro vėsiau?

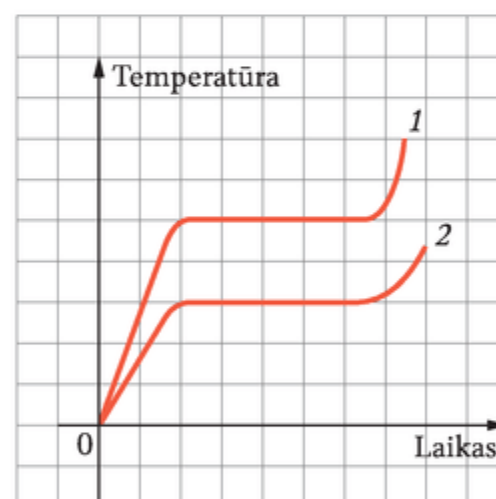
6. Kaip kinta skysčio virimo temperatūra, slėgiui mažėjant?

- A Didėja.
- B Mažėja.
- C Nekinta.
- D Virimo temperatūra nesusijusi su slėgiu.

7. Du vienodos masės skysčiai užvirinti ant vienodų šildytuvų. Remdamiesi grafikais (2.18 pav.), nustatykite, kurio skysčio:

- a) aukštesnė virimo temperatūra;
- b) didesnė savitoji šiluma.

8. Kondensuojantis 100 °C temperatūros vandens garams, išsiskyrė 5,75 MJ šilumos. Kiek vandens susidarė?



2.18 pav.





# Š I L U M A

## 3

### Šiluminiai varikliai

Šiame skyriuje susipažinsite su:

- šiluminio variklio samprata;
- vidaus degimo variklio konstrukcija ir veikimo principu;
- dyzeliniu varikliu;
- garo turbina;
- energijos tvermės dėsniu šiluminiuose procesuose;
- šiluminio variklio naudingumo koeficiento sąvoka.



## 3.1. Vidaus degimo variklis

### Kas yra šiluminis variklis?

Kažkada žmogus galėjo pasikliauti tik savo raumenų energija. Vėliau prisijaukino laukinius gyvūnus ir juos įkinkė į darbą. Ilgainiui žmogus išmoko naudotis upių ir vėjo darbu. Energijai perduoti, pakeisti sugalvota daug paprasčiausių mechanizmų: svertų, skridinių ir kt. Ir palyginti neseniai pradėta plačiai naudoti naftos, anglių, gamtinių dujų energijos atsargas. Išmokus minėtų medžiagų vidinę energiją paversti mechanine, sukurti šiluminiai varikliai. **Šiluminių variklių vadinama mašina, kurioje kuro vidinė energija virsta mechanine energija.**

**Bandymas.** Į mėgintuvėlį įpilkiame šiek tiek vandens, užkimškime sandariu kamščiu ir kaitinkime, kad vanduo užvirtų. Susidarę garai ims

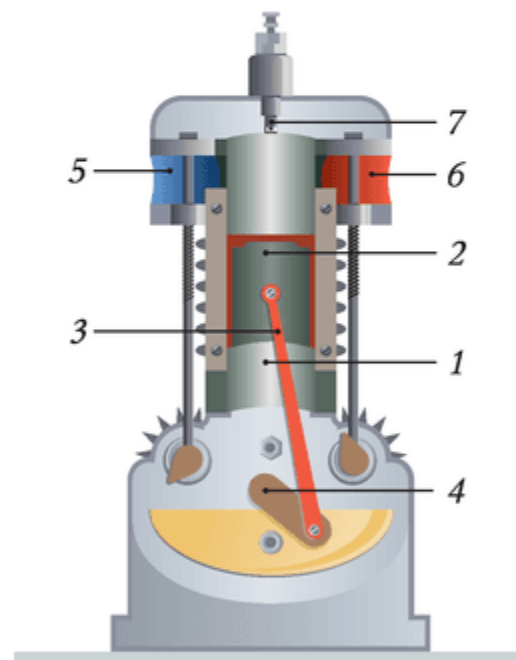
spausti kamštį ir jis išlėks į viršų. Kuro energija virto garų vidine energija, o ši – kamščio mechanine (kinetine) energija. Jeigu mėgintuvėlį pakeistume metaliniu cilindru, o kamštį – sandariu stūmokliu, galinčiu slankioti išilgai cilindro, gautume paprasčiausią šiluminį variklį.

Šiluminiai varikliai gali būti įvairių rūšių: garo mašinos, garo ir dujų turbinos, vidaus degimo varikliai, reaktyvieji varikliai. Garo mašinose ir turbinose kuro energija iš pradžių paverčiama degimo produktų, vandens garų energija, o ši – mechanine energija. Vidaus degimo varikliuose kuras dega, ir jo vidinė energija eikvojama variklio viduje – cilindruose (iš čia kilęs ir variklių pavadinimas).

### Vidaus degimo variklio sandara

Iš visų šiluminių variklių labiausiai paplitę **vidaus degimo varikliai**. Jie veikia naudodami skystąjį kurą (benziną, dyzeliną) arba degiąsias dujas. Šie varikliai įtaisomi beveik visose transporto priemonėse: lengvuosiuose automobiliuose, motocikluose, sunkvežimiuose, žemės ūkio technikoje, lėktuvuose, laivuose, taip pat žolapjovėse, grandininuose pjūkluose ir kt.

Svarbiausios vidaus degimo variklio dalys paaiškintos 3.1 paveiksle. Cilindre 1 slankioja stūmoklis 2, kuris švaistikliu 3 sujungtas su alkūniniu vėlu 4. Cilindro viršuje yra du vožtuvai: įsiurbimo 5 (sujungtas su kuro baku) ir išmetimo 6 (sujungtas su išmetimo vamzdžiu). Reikiamais momentais vožtuvai atsidaro ir užsidaro. Žvakė 7 uždega į cilindrą patekusį kuro ir



3.1 pav.

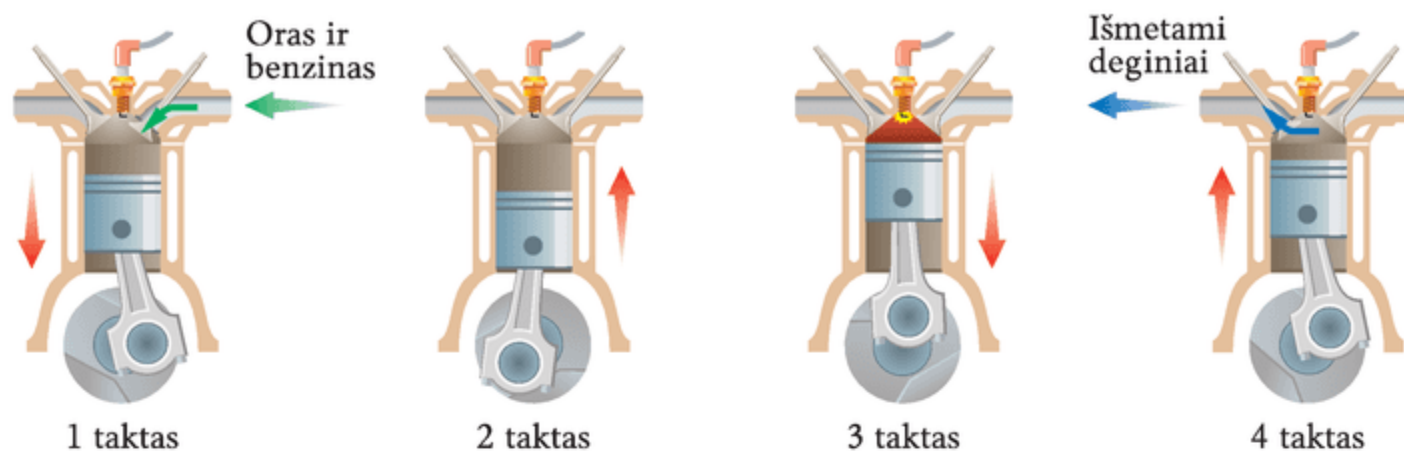
oro mišinį. Toks variklis veikia dviejų arba keturių taktų ciklu. Populiariausi yra vadinamieji **keturtakčiai vidaus degimo varikliai**.

### Benzininio variklio veikimo principas

Išnagrinėkime detaliau, kaip veikia keturtaktis benzininis vidaus degimo variklis. Vienas tokio

variklio darbo ciklas apima keturias stūmoklio eigas, arba keturis taktus (3.2 pav.). Dėl to šis va-





3.2 pav.

riklis ir vadinamas keturtakčiu. Stūmoklio eiga yra atstumas, kurį jis nueina nuo vienos kraštutinės padėties iki kitos.

- **Pirmasis variklio taktas – įsiurbimas.** Kad variklis pradėtų veikti, jo alkūninį veleną iš pradžių reikia įsukti koku nors išoriniu įrenginiu – paleidikliu arba rankena. Sukantis velenui, stūmoklis iš viršutinės kraštutinės padėties slenka žemyn, dujos cilindre praretėja, atsidaro įsiurbimo vožtuvas ir pro jį į cilindrą patenka degusis benzino bei oro mišinys. Kai stūmoklis pasiekia apatinę kraštutinę padėtį, įsiurbimo vožtuvas užsidaro.

- **Antrasis taktas – suspaudimas.** Toliau sukdamasis alkūninis velenas ima kelti stūmoklį į viršų. Abu vožtuvai tuo metu yra uždaryti, todėl degusis mišinys susispaudžia. Kai stūmoklis vėl pasiekia viršutinę kraštutinę padėtį, žvakė skelia kibirkštį. Nuo jos degusis mišinys užsidega.

- **Trečiasis taktas – darbas (degimas).** Mišinys sudega staiga (sprogsta), labai padidėja degant susidariusių dujų slėgis. Plėsdamosi dujos spaudžia stūmoklį ir dėl to jis slenka žemyn – atlieka darbą. Leisdamasis stūmoklis verčia judėti su juo sujungtą švaistiklį, o šis – alkūninį veleną. Stipriai pastumtas velenas toliau sukasi iš inercijos ir per kitus taktus kilnoja stūmoklį. Šio takto metu abu vožtuvai taip pat yra uždaryti.

- **Ketvirtasis taktas – išmetimas.** Stūmoklis nusileidžia iki apatinės kraštutinės padėties ir iš inercijos ima kilti į viršų. Atsidaro išmetimo vožtuvas ir pro jį deginiai išmetami iš cilindro laukan, o stūmoklis kyla. Baigiantis šiam taktui, išmetimo vožtuvas užsidaro.

Kol velenas apsisuka du kartus, įvyksta visi keturi taktai. Paskui jie kartojasi iš pradžių.

Automobiliuose įrengiamas ne vienas, o dažniausiai keturi cilindrai (jų gali būti ir aštuoni

ar dvylika), kurie tuo pat metu veikia skirtingais taktais. Vadinasi, bet kuriuo metu viename iš keturių cilindrų vyksta darbo taktas. Dėl to alkūninis velenas nuolat gauna energijos iš stūmoklių ir sukasi tolygiai.

## Dyzelinis vidaus degimo variklis

Paplitę ir **dyzeliniai vidaus degimo varikliai**. Jie veikia tokiu pat principu kaip benzininiai keturtakčiai varikliai, tik yra varomi ne benzinu, o dyzelinu ir jis patenka tiesiai į ci-

### Tai įdomu

- ★ Garo mašiną 1782 m. išrado Didžiosios Britanijos inžinierius Džeimsas Vatas (*Watt*).
- ★ Pirmąjį vidaus degimo variklį 1860 m. sukonstravo prancūzų išradėjas Etjenas Lenuaras (*Lenoir*).
- ★ Benzinu varomą keturtaktį vidaus degimo variklį 1876 m. sukūrė vokiečių inžinierius Nikolausas Augustas Otas (*Otto*).
- ★ Šiuolaikinį vidaus degimo variklį 1886 m. išrado vokiečių inžinierius Karlas Bencas (*Benz*).
- ★ Vidaus degimo variklį be alkūninio veleno (rotorinį) 1957 m. išrado vokiečių Feliksas Vankelis (*Wankel*).



lindrą. Be to, dyzeliniai varikliai neturi uždegimo žvakės. Cilindre suslėgtas oras įkaista iki 500–700 °C. Nuo jo suspaudimo takto pabaigoje savaime užsiliepsnoja dideliu slėgiu įpurkšti į cilindrą degalai. Dyzeliniai varikliai, palyginti su benziniais, suvartoja apie 25 % mažiau de-

galų ir į aplinką išmeta mažiau kenksmingų teršalų, nes degalai naudojami efektyviau (daugiau degalų sudega iki galo).

Dyzelinis variklis ir jį maitinantys degalai pavadinti pagal jo išradėjo, vokiečių inžinieriaus Rudolfo Dyzelio (*Diesel*, 1858–1913) pavardę.

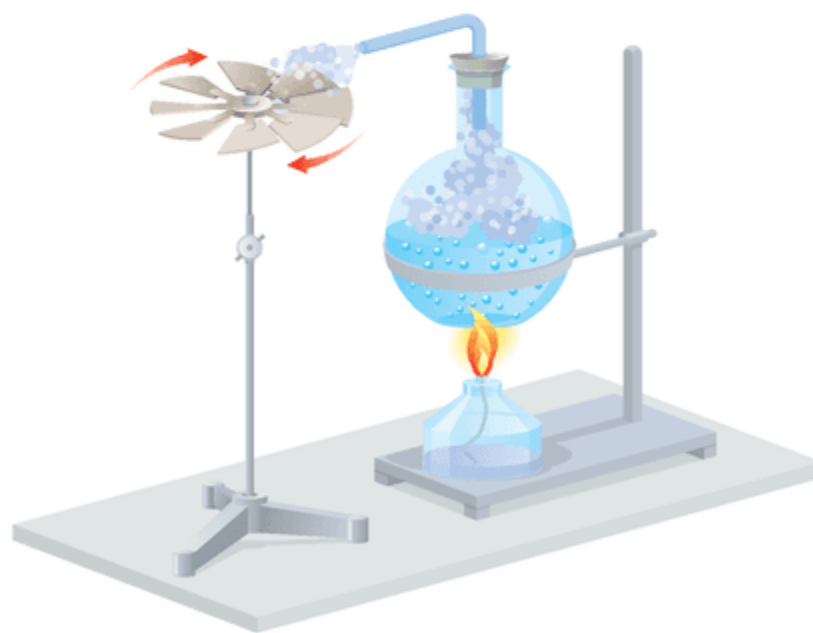
### Užduotys

1. Kokie energijos virsmai vyksta visuose šiluminuose varikliuose?
2. Ar galima šaunamuosius ginklus vadinti šiluminiais varikliais?
3. Kodėl lėktuvų, kurių varikliai vartoja degalų ir oro mišinį, pakilimo aukštis ribotas?
4. Įvardykite keturtakčio variklio taktus ir paaiškinkite, kokie procesai vyksta variklyje per kiekvieną taktą.
5. Kuo daugiacylinčiai vidaus degimo varikliai pranašesni už viencylinčius?
6. Ar įsiurbimo ir išmetimo vožtuvai turi būti pagaminti iš tos pačios medžiagos? Kodėl?
7. Kodėl dyzelinio variklio cilindre degusis mišinys užsidega be elektros kibirkšties?
8. Keturtakčio variklio alkūninis velenas per minutę apsisuka 3000 kartų. Kiek kartų per 1 s kiekviename cilindre užsiliepsnoja degusis mišinys?
9. Viencylinčiame keturtakčiame vidaus degimo variklyje per 1 s degusis mišinys užsidega 25 kartus. Kiek kartų per tą patį laiką apsisuka alkūninis velenas?
10. Keturtakčio vidaus degimo variklio alkūniam velenui apsisukant 100 kartų, įvyksta 300 stūmoklio darbo taktų. Kiek cilindrų turi šis variklis?
11. Vidaus degimo variklio stūmoklio plotas 200 cm<sup>2</sup>, eiga 30 cm, o vidutinis slėgis darbo takto metu 50 N/cm<sup>2</sup>. Kokį darbą, degant benzino ir oro mišiniui, atlieka plėsdamosi dujos?

## 3.2. Garo turbina

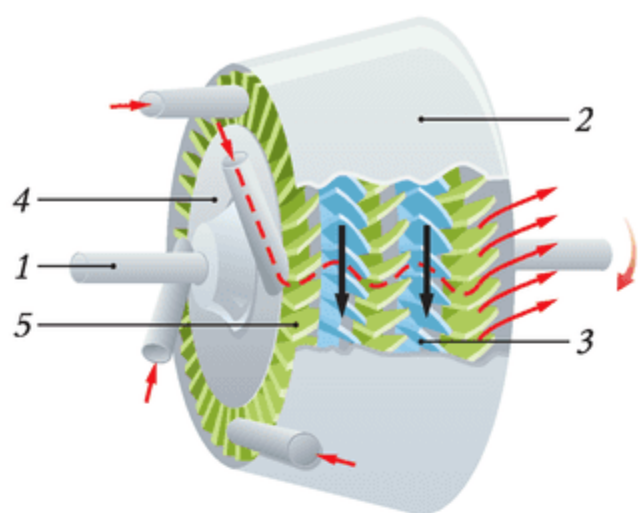
Šiluminis variklis, kuris turi sukamąjį darbinį ratą ir vandens garų srauto energiją paverčia mechanine energija, vadinamas **garo turbiną** (pranc. *turbine*; lot. *turbo* (kilm. *turbinis*) – sūkurys). Ji darbinio rato sukamąjį judėjimą sukuria be tarpinių grandžių (stūmoklio, švaistiklio). Garo turbinos veikimo principą galima pailustruoti tokiu bandymu.

**Bandymas.** Įpilkime į apvalią kolbą vandens, užkimškime ją kamščiu su jame įtaisytu lenktu stikliniu vamzdeliu ir vandenį kaitinkime. Garai ims veržtis pro vamzdelį ir suks lengvą popierinį malūnėlį (3.3 pav.).



3.3 pav.





3.4 pav.

Garų turbiną (3.4 pav.) sudaro ant veleno 1 užmautas diskas (darbinis ratas) 2 su mentėmis 3 ir korpuse nejudamai įtvirtintas kreipratis 4, kuriame žiedu įtaisytos nejudamosios mentės 5. Jos nukreipia iš katilo išsiveržiančius labai karštus vandens garus į darbinio rato mentes 3. Slėgdami jas, garai greitai suka darbinį ratą. Turbina sukasi.

Kreipratis ir darbinis ratas sudaro vieną turbinos pakopą. Šiuolaikinėse turbinose tokių pakopų būna ne viena, o daug (ant vieno veleno užmaunama iki keliasdešimties diskų). Garai iš eilės pereina pro visų jų mentes. Einančių nuo vienos pakopos prie kitos garų slėgis mažėja, todėl kiekvienos tolesnės pakopos disko skersmuo

ir menčių plotas yra vis didesnis, kad visas mentes veikianti jėga būtų vienoda. Šiuolaikinė garų turbina pavaizduota 3.5 paveiksle.

Garų turbinų galia siekia net iki 1200 kW. Elektrinėse šios turbinos sujungiamos su elektros srovės generatoriumi.

Yra ir dujų turbinų, kuriose vietoj vandens garų naudojami dujų degimo produktai.

Garų turbinos naudojamos šiluminėse elektrinėse, laivuose elektros srovės generatoriams sukurti. Dujų turbinos įrengiamos lėktuvuose.



3.5 pav.

### Tai įdomu

✳ I a. pr. Kr. žymus graikų mokslininkas Heronas Aleksandrietis buvo aprašęs primityvią garų turbiną, vadinamą Herono rutuliu. Ją sudarė tuščia-viduris geležinis rutulys, galintis sukotis apie horizontalią ašį. Iš uždaro katilo su verdančiu vandeniu garai patekdavo į rutulį, o pro lenktus vamzdelius iš jo išsiverždavo laukan (3.6 pav.). Dėl to rutulys

imdavo suktis. Taip vidinė garų energija virsdavo mechanine. (*Pagal Inos Kirilovos knygą „Fizikos skaitiniai VII–VIII klasei“; K., 1990.*)

✳ 1629 m. minimas garų srove sukamas iešmas kepsniui kepti.

✳ Pirmąją technikai pritaikytą garų turbiną 1883 m. sukūrė švedų inžinierius ir išradėjas Gustafas de Lavalis (*de Laval*).



3.6 pav.



1. Ką vadiname garo turbina? Kuo ji iš esmės skiriasi nuo stūmoklinio variklio?
2. Kurios rūšies vandens garų energija naudojama turbinos mentėms sukuti?
3. Kurios rūšies vandens garų energija veikia turbinos mentes?
4. Į turbiną patenkančių garų temperatūra siekia kelis šimtus laipsnių. Ar ji turbinoje kinta? Kokia yra iš turbinos išeinančių garų temperatūra? Kodėl?
5. Į vieną garo turbiną patenka  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūros vandens garai, į kitą – tiek pat  $520\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūros garų. Iš abiejų turbinų išeinančių garų temperatūra yra vienoda. Kuri turbina galingesnė?
6. Garo turbinose ant vieno veleno dažnai užmaunami keli vis didesnio skersmens diskai. Iš pradžių karšti garai patenka ant mažiausio disko, vėliau – ant vis didesnio. Kaip manote, kokia iš to nauda?

## 3.3. Energijos tvermės dėsnis šiluminiuose procesuose

### Šiluminio variklio naudingumo koeficientas

Vidaus degimo varikliai, garo turbinos ir kiti šiluminiai varikliai tik dalį kuro išskiriamos energijos paverčia mechaniniu darbu. Iš variklio išėję garai ar dujos dar turi energijos. Kuo didesnė kuro vidinės energijos dalis šiluminiame variklyje paverčiama naudinguoju darbu, tuo ekonomiškėnis variklis. Variklio darbo efektyvumą apibūdina naudingumo koeficientas. **Atlikto naudingojo mechaninio darbo ir sunaudotos kuro vidinės energijos santykis vadinamas šiluminio variklio naudingumo koeficientu:**

$$\eta = \frac{A_n}{Q};$$

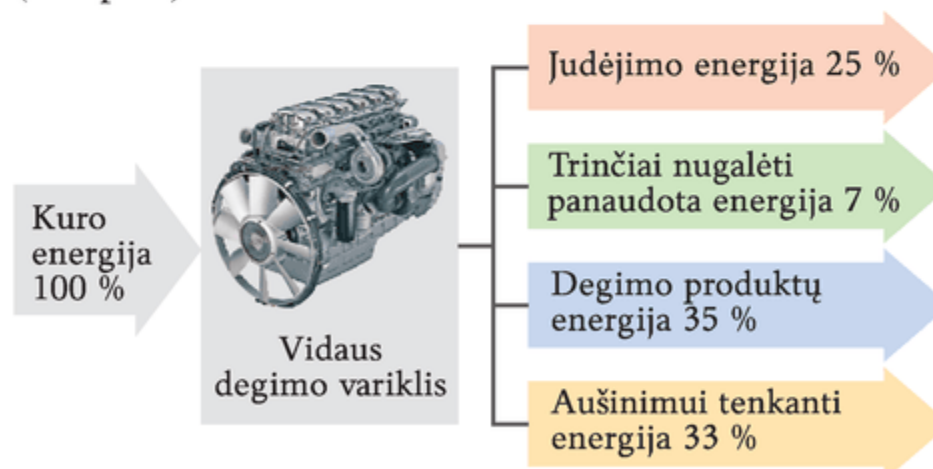
čia  $A_n$  – naudingasis mechaninis darbas,  $Q$  – kuro vidinė energija,  $\eta$  – variklio naudingumo koeficientas.

Šiluminio variklio, kaip ir kiekvieno mechanizmo, naudingumo koeficientas visada yra mažesnis už vienetą (žr. fizikos vadovėlio VIII klasei pirmosios knygos p. 90). Jį galima išreikšti procentais:

$$\eta = \frac{A_n}{Q} \cdot 100 \text{ } \%.$$

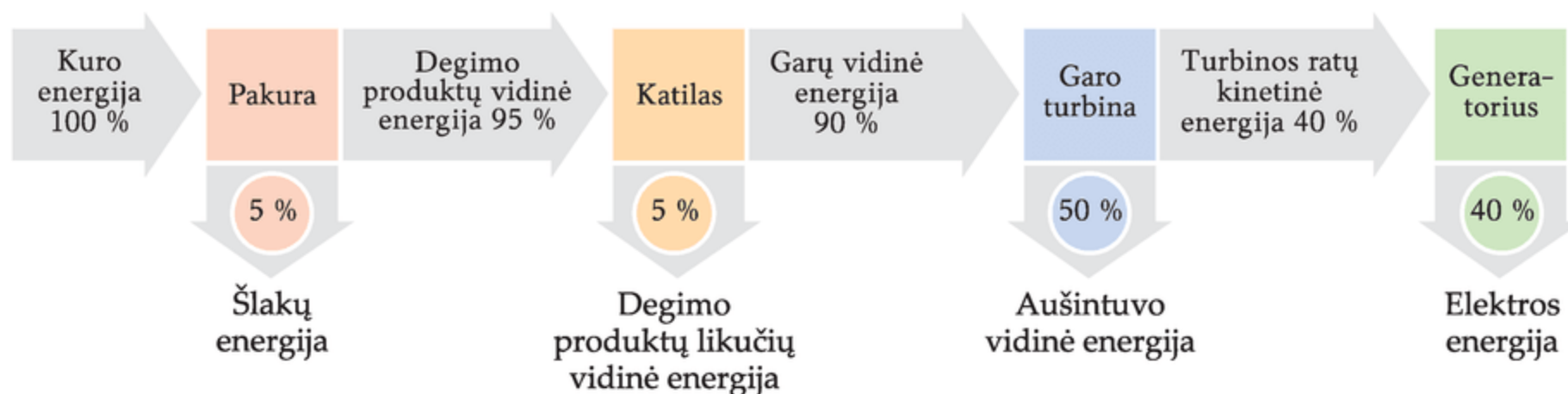
Naudingumo koeficientas matavimo vieneto neturi. Vidaus degimo variklių naudingumo koeficientas būna iki 40–50 %, garo turbinų – iki 40 %.

Jei šiluminio variklio naudingumo koeficientas visada yra mažesnis už vienetą (t. y. mažesnis už 100 %), tai kur dingsta dalis kuro vidinės energijos? Panaudotieji garai, degimo produktai yra karšti, vadinasi, jie dar turi vidinės energijos. Nemažai jos atiduodama variklių detalėms, išsi sklaido aplinkoje. Pateiktos diagramos vaizduoja, kaip pasiskirsto kuro vidinė energija vidaus degimo variklyje (3.7 pav.) ir garo turbinoje (3.8 pav.).



3.7 pav.





3.8 pav.

## Energijos tvermės dėsnis

Atidžiai išanalizavę abi šias diagramas, įsitikiname, kad **energijos tvermės dėsnis** galioja ir šiluminiuose procesuose. Taigi, vykstant bet kuriems virsmams, bendras energijos kiekis nekinta. Šį dėsnį patvirtina ir kiti jau nagrinėti šiluminiai reiškiniai: kūnų šiluminis plėtimasis, agregatinių būsenų kitimas, šilumos perdavimas.

Prisiminkime, kad energijos tvermės dėsnis būdingas ir mechaniniams reiškiniams. Taigi jį galima apibendrinti:

vykstant bet kokiems reiškiniams, uždarosios kūnų sistemos pilnutinė energija nekinta.

Šis dėsnis patvirtina, kad energija savaime niekur neišnyksta ir iš nieko neatsiranda, tik vienos rūšies energija virsta kitos rūšies energija arba pereina iš vieno kūno į kitą, o bendras jos kiekis lieka pastovus.

**Uždavinys.** 5 kW galios motorolerio vidaus degimo variklyje per 1 h sudegė 2 kg benzino.

Apskaičiuokime variklio naudingumo koeficientą. Benzino degimo šiluma  $4,4 \cdot 10^7$  J/kg.

$$N = 5 \text{ kW} = 5 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$q = 4,4 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$$

$$\eta = ?$$

*Sprendimas*

Variklio atliktas naudingasis darbas

$$A_n = Nt;$$

$$A_n = 5 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 1,8 \cdot 10^7 \text{ J}.$$

Sudegdamas benzinas išskyrė šilumos kiekį

$$Q = qm;$$

$$Q = 4,4 \cdot 10^7 \text{ J/kg} \cdot 2 \text{ kg} = 8,8 \cdot 10^7 \text{ J}.$$

Motorolerio variklio naudingumo koeficientas

$$\eta = \frac{A_n}{Q};$$

$$\eta = \frac{1,8 \cdot 10^7 \text{ J}}{8,8 \cdot 10^7 \text{ J}} \approx 0,20, \text{ arba } \eta \approx 20 \text{ \%}.$$

*Atsakymas.*  $\eta \approx 20 \text{ \%}$ .

### Tai įdomu

✳ Daug žmonių kartų svajojo sukurti mašiną, kuri, kartą paleista, veiktų iš niekur negaudama energijos. Tokios tariamos mašinos vadinamos amžinaisiais varikliais (lot. *perpetuum*

*mobile* – amžinai judantis). Pirmieji amžinųjų variklių projektai pasirodė XIII a. ir ypač išpopuliarėjo XVI–XVII a. Vieno tokio variklio konstrukcija parodyta 3.9 paveiksle.

Autoriaus nuomone, šis įrenginys, kartą paleistas, turėtų suktis amžinai, nes nusileidžiantys rutuliai labiau nutolsta nuo ašies negu kylantys (prisiminkite svirtus).

Tačiau toks ratas dėl trinties netrukus sustoja.

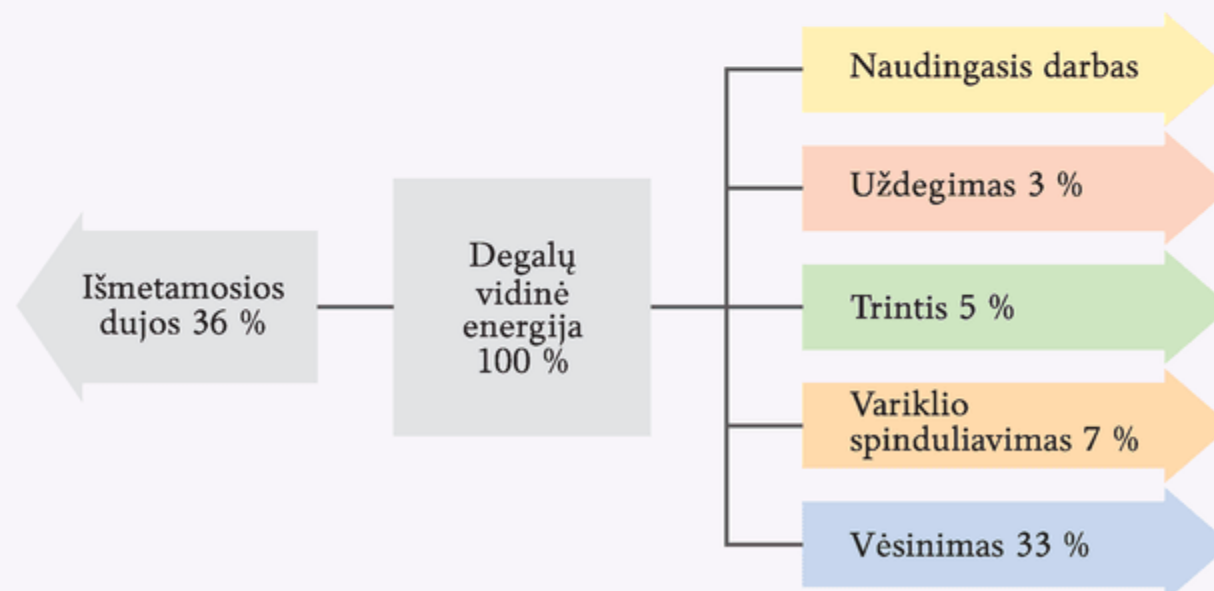
✱ 1775 m. Parįžiaus mokslų akademija atsisakė svarstyti bet kokius amžinųjų variklių projektus. Tačiau ir dabar yra manančių, kad tokius variklius sukurti įmanoma.

✱ Amžinųjų variklių negali būti, nes jų veikimas prieštarauja energijos tvermės dėsniui.



### Užduotys

1. Ką nusako šiluminio variklio naudingumo koeficientas? Kaip jis apskaičiuojamas?
2. Kodėl šiluminio variklio naudingumo koeficientas negali būti lygus 100 %?
3. Dyzelinio variklio naudingumo koeficientas yra apie 35 %, o lengvojo automobilio su dyzeliniu varikliu – tik apie 24 %. Paaiškinkite kodėl.
4. 1 l dyzelino turi 40 MJ vidinės energijos. Tik 14 MJ jos panaudojama mechaniniam variklio darbui atlikti. Koks yra variklio naudingumo koeficientas?
5. Ar galima, sunaudojant 1 J vidinės kūno energijos, atlikti 1 J darbą?
6. 100 MW galios garo turbinos katilo pakuroje per parą sudeginama 960 t akmens anglių. Apskaičiuokite šios turbinos naudingumo koeficientą.
7. Kaip pasiskirsto automobilio degalų vidinė energija, parodyta 3.10 paveiksle. Remdamiesi pateikta schema, apskaičiuokite, koks yra šio automobilio naudingumo koeficientas.
8. Laisvai kabo 3 m ilgio virvė. Ja nuo pat viršaus žemyn slysta 250 g masės žiedas. Virvės gale žiedo greitis yra 3 kartus mažesnis, palyginti su laisvai krintančio tokio pat žiedo greičiu. Kiek šilumos išsiskiria, žiedui slystant virve?
9. Ar užteks 1 g etilo alkoholio 1 g ledo, kurio temperatūra  $-10^{\circ}\text{C}$ , paversti  $100^{\circ}\text{C}$  temperatūros vandens garais? Spiritinės lemputės naudingumo koeficientas 10 %.
- 10\*. Automobilis 110 km kelyje sudegino 6,9 kg benzino. Variklio vidutinė galia buvo 13 kW, o automobilio vidutinis greitis 75 km/h. Apskaičiuokite automobilio variklio naudingumo koeficientą.



3.10 pav.



## 2-asis laboratorinis darbas

### Šilumos kiekių palyginimas maišant šaltą ir karštą vandenį

*Priemonės:* 1) termometras; 2) kalorimetras; 3) matavimo cilindras; 4) stiklinė; 5) po stiklinę šalto ir karšto vandens; 6) medinė lazdelė.

.....

#### *Darbo eiga*

1. Į vidinį kalorimetro indą įpilkite 100 g karšto vandens, o į stiklinę – tiek pat šalto. Termometru išmatuokite vandens temperatūrą abiejuose induose.

2. Gautas temperatūros vertes įrašykite iš anksto sąsiuvinyje sudarytos lentelės atitinkamose skiltyse:

Karšto vandens masė $m_1$ , kg	Šalto vandens masė $m_2$ , kg	Karšto vandens temperatūra $t_1$ , °C	Šalto vandens temperatūra $t_2$ , °C	Mišinio temperatūra $t$ , °C	Karšto vandens atiduotas šilumos kiekis $Q_1$ , J	Šalto vandens gautas šilumos kiekis $Q_2$ , J

#### Užduotys

1. Norint apskaičiuoti plieno savitąją šilumą, į indą, kuriame buvo 500 g 13 °C temperatūros vandens, įdėtas 400 g masės 100 °C temperatūros plieninis ritinėlis. Vandens temperatūra inde pakilo iki 20 °C. Remdamiesi šiais duomenimis, apskaičiuokite plieno savitąją šilumą.

2. Lydymo krosnyje 30 kg vario įkaitinta nuo 85 °C iki lydymosi temperatūros, sudeginant

10 kg antracito. Koks yra krosnies naudingumo koeficientas?

3\*. Voniai paruošti reikia sumaišyti šaltą 11 °C temperatūros vandenį su karštu 66 °C temperatūros vandeniu. Kiek vieno ir kiek kito vandens reikia įpilti į vonią, norint gauti 550 l 36 °C temperatūros vandens? Į šilumos nuostolius neatsižvelkite.

## 3.4. Šiluminiai reiškiniai ir ekologinės problemos

Šiluminiai reiškiniai susiję su iškastinio kuro (naftos, anglių, gamtinių dujų) deginimu. Dėl to į Žemės atmosferą kasmet išmetamas milžiniškas kiekis teršalų, neigiamai veikiančių aplinką. Tarp jų ypač daug yra sieros dioksido ( $\text{SO}_2$ ). Šios aitrios dujos lengvai tirpsta vandenyje, sudary-

damos sieros rūgštį, nuo kurios žūva augalai, genda pastatai. Automobilių variklių cilindrųose ir pakurose, kur degant kurui yra labai aukšta temperatūra, susidaro azoto oksidų ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ). Šios troškios dujos taip pat virsta rūgštimis. Išmetamosiose automobilių dujose, be azoto ok-



sidų, yra sveikatai labai kenksmingų smalkių (anglies monoksido CO), angliavandenilių, kurie susidaro degalams sudegant ne iki galo. Saulės spindulių veikiami, azoto oksidai ir angliavandeniliai sudaro fotocheminį smogą. Degant kurui, susidaro labai didelis kiekis dar vieno nepa-geidaujamo junginio – anglies dioksido (CO<sub>2</sub>), kuris skatina klimato kaitą Žemėje. Jis sukelia vadinamąjį šiltnamio reiškinių – mūsų planetos atmosfera geba praleisti Saulės ir iš dalies sulai-kyti Žemės spindulius.

Vis labiau teršiant atmosferą, sutrinka pu-siausvyra tarp šilumos kiekio, kurį Žemė gauna iš Saulės, ir šilumos kiekio, kurį Žemė atiduoda aplinkai. Jei ir toliau taip beatodairiškai bus teršia-ma atmosfera, gali pradėti tirpti poliarinių sričių ledynai, pakilti jūrų lygis, o tai neigiamai paveiks visą Žemę.

Įvairių automobilių kasmet daugėja, taigi jų keliamos problemos – aplinkos tarša, kraštovaiz-džio nuskurdimas, autoavarijų padariniai ir kt. – darosi vis aktualesnės. Juk net trečdalį visų atmosferos teršalų sudaro automobilių išmeta-mosios dujos. Pavojingiausias jų komponentas yra švinas. Ypač kenksmingos kancerogeninės (lot. *cancer* – vėžys) mėsos – cheminiai jun-giniai, tam tikromis sąlygomis skatinantys pikty-binių auglių susidarymą organizme.

Labai užterštos paplentės, miestų gatvės, san-kryžos. Lietuvoje automobiliai išmeta apie 50 % visų į atmosferą patenkančių teršalų. Kad auto-mobiliai terštų mažiau, jų konstruktoriams reikia

### Tai įdomu

★ Dirbant nereguliuotam auto-mobilio karbiuratoriumi, išmetamo anglies monoksido (CO) koncen-tracija gali padidėti net 2–3 kartus.

★ Vienas automobilis, per me-tus nuvažiuodamas 10 000 km ir sudegindamas po 7 kg benzino 100 km, išmeta apie 10 t įvairių dujų mišinio.

★ Kai transporto intensyvumas yra vienodas, kenksmingų medžiagų koncentracija plačiose gatvėse apie 30 % mažesnė nei siaurose.

tobulinti vidaus degimo variklių konstrukciją, degalų sudėtį, griežtai laikytis nustatytų kenks-mingų medžiagų išmetimo į atmosferą normų, mažinti išmetamųjų dujų koncentraciją. Automo-bilių keliamą taršą galima sumažinti ir pagerinus transporto srautų judėjimą dideliuose miestuose, tinkamai sutvarkius kelių sistemą, t. y. įrengus aplinkkelius, viadukus, pastačius ekranines sienas, pylimus, pasodinus želdinių ir pan. Prie taršos mažinimo gali prisidėti ir kiekvienas automobilio vairuotojas: naudoti tik konkrečiam automobi-liui numatytus degalus, rūpintis, kad automobilis būtų geros techninės būklės, sureguliuotas degalų tiekimas, tvarkingi filtrai ir t. t. Verta pamąstyti ir apie ekonomišką automobilio vairavimą, dažnesnį naudojimąsi viešuoju transportu ir pan.

### Užduotys

1. Kodėl šiluminiai varikliai teršia aplinką?
2. Kaip galima sumažinti jų keliamą taršą?
3. 2008 m. Lietuvoje buvo sukūrenta 315,6 tūkst. t akmens anglių. Kiek šilumos jos išskyrė sudegamos?
4. 2004 m. pasaulyje per dieną buvo išgaunama daugiau kaip  $1,02 \cdot 10^7$  t naftos. Kiek šilumos galėtų išsiskirti iš tos naftos, jei ji visa būtų sunaudota kurui?
5. Linijine diagrama pavaizduokite, kaip kito akmens anglių, bioetanolio ir biodyzelino sunaudojimas Lietuvoje 2004–2008 m. laiko-

tarpiu. Reikiamų duomenų ieškokite internete ([www.stat.gov.lt/lt/](http://www.stat.gov.lt/lt/)). Palyginkite kitimo ten-dencijas. Padarykite išvadą.

6. Nuvažiuodamas 100 km, automobilis su-degina 8 l benzino. Kiek šilumos išsiskiria sudegus šiam benzinui? Benzino tankis  $710 \text{ kg/m}^3$ .
- 7\*. Kada automobilis suvartoja daugiau degalų: kai numatytą vietą pasiekia stabčiodamas ar kai nesustodamas?
8. Kodėl Vilniaus senamiestyje ribojamas auto-mobilių eismas?



Šiluminis variklis	<p>Šiluminiu varikliu vadinama mašina, kurioje kuro vidinė energija virsta mechanine energija.</p> <p>Šiluminių variklių rūšys:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• garo mašinos;</li> <li>• garo turbinos;</li> <li>• dujų turbinos;</li> <li>• vidaus degimo varikliai (benzininiai, dyzeliniai);</li> <li>• reaktyvieji varikliai.</li> </ul> <p>Keturtakčio vidaus degimo variklio taktai:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) įsiurbimas;</li> <li>2) suspaudimas;</li> <li>3) darbas (degimas);</li> <li>4) išmetimas.</li> </ol>
<p>Šiluminio variklio naudingumo koeficientas</p> $\eta = \frac{A_n}{Q} \cdot 100 \%$	Atlikto naudingojo mechaninio darbo ir sunaudotos kuro vidinės energijos santykis vadinamas šiluminio variklio naudingumo koeficientu.
Energijos tvermės dėsnis	Vykstant bet kokiems reiškiniams, uždarnosios kūnų sistemos pilnutinė energija nekinta.

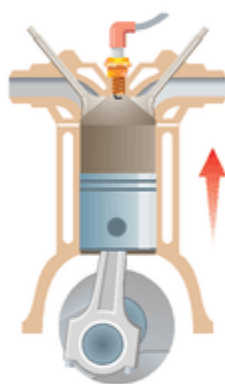
# Savikontrolės užduotys

1. Kuris energijos virsmas vyksta šiluminiame variklyje?

- A Mechaninė energija virsta vidine.
- B Mechaninė energija virsta darbu.
- C Vidinė energija virsta mechanine.
- D Vidinė energija virsta elektros energija.

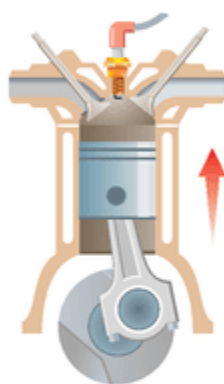
2. 3.11 paveiksle pavaizduoti atskiri šiluminio variklio veikimo etapai.

- a) Koks tai yra šiluminis variklis?
- b) Įvardykite kiekvieną veikimo etapą.
- c) Nurodykite, kurio iš jų metu abu vožtuvai būna uždaryti.
- d) Kiek darbo taktų įvyksta šios konstrukcijos variklyje, turinčiame keturis cilindrus, kol velenas apsisuka du kartus?

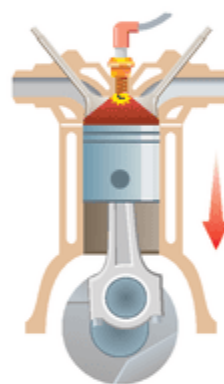


A

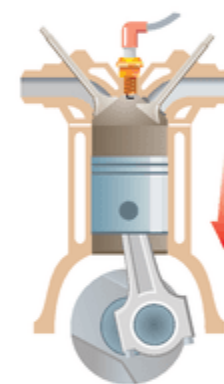
3.11 pav.



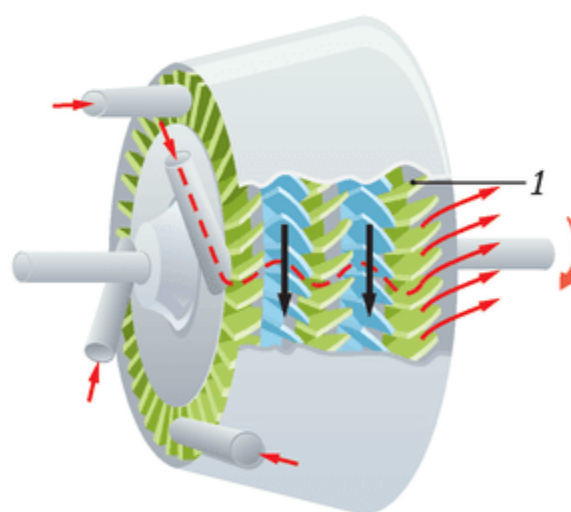
B



C



D



3.12 pav.

3. Remdamiesi 3.12 paveikslu, nurodykite:

- a) koks tai variklis;
- b) koks energijos virsmas jame vyksta;
- c) kaip vadinamos dalys, pažymėtos 1;
- d) kokį vaidmenį jos atlieka.

4. Garo turbina darbui naudoja tik  $\frac{1}{4}$  dalį energijos, išsiskiriančios sudegant anglims. Apskaičiuokite turbinos naudingumo koeficientą.

5. 120 MW galios garo turbina per parą sudegina 1350 t akmens anglių. Apskaičiuokite turbinos naudingumo koeficientą. Energijos nuostolių nepaisykite.

6. Spiritine lempute šildant 400 g vandens nuo 18 °C iki 73 °C, sudeginta 10 g etilo alkoholio. Koks yra lemputės naudingumo koeficientas?





# ELEKTRA

## 4 Elektros srovė

Šiame skyriuje susipažinsite su:

- kūnų įelektrinimu;
- įelektrintų kūnų sąveika;
- elektroskopu;
- elektrinio lauko sąvoka;
- elektros srovė metaluose;
- įvairiais elektros srovės šaltiniais;
- elektrinių grandinių sudedamosiomis dalimis;
- elektrinėmis schemomis.



## 4.1. Įelektrinti kūnai ir jų sąveika

Su elektros pradmenimis jums teko šiek tiek susipažinti pradinėje mokykloje per pasaulio pažinimo pamokas, taip pat V–VII klasėje. Dabar

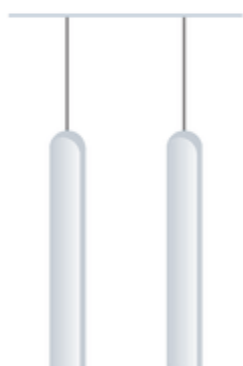
šią pažintį tęsime. Iš pradžių prisiminsime ir išsamiau panagrinėsime kai kuriuos jums jau žinomus reiškinius.

### Kūnų įelektrinimas

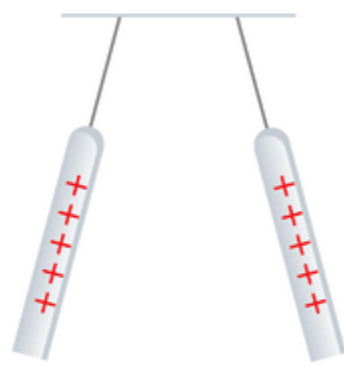
Ieškant kūnų elektrinių savybių priežasčių, manyta, kad kūnai yra kažko prikrauti, todėl elektrinių reiškinių šaltiniai buvo pavadinti **elėktros krūviais**. Kad kūnai gali turėti elektros krūvį, įsitikinome VII klasėje atlikdami bandymus su patrinta į popieriaus lapą ar šilkinį audinį stikline lazdele ir perbrauktomis per kailio atraižą plastikinėmis šukomis arba tušinuku. Visi šie kūnai traukė lengvas popieriaus skiauteles. Trinami jie **įgijo elektros krūvį**, arba **įsielektrino**: lazdelė (arba kailio atraiža) – teigiamai, o šilkinis audinys (šukos arba tušinukas) – neigiamai. Taigi žinome, kad **gamtoje yra dviejų rūšių elektros krūviai: teigiamieji ir neigiamieji**.

Įelektrinti kūnai sąveikauja. Vienarūšiais (t. y. vienodų ženklų) krūviais įelektrinti kūnai vieni kitus stumia, įvairiarūšiais (priešingų ženklų) – traukia. Šį teiginį nesunku patikrinti atliekant bandymą.

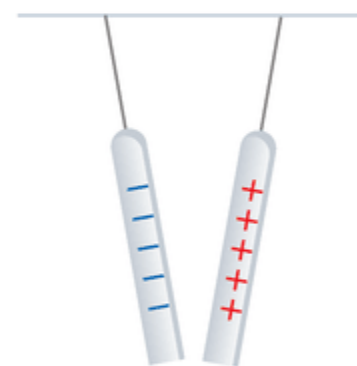
**1 bandymas.** Prie izoliacinių stovų kaproniniu siūlu pririškime dvi lengvas aliuminio folijos tūteles. Neįelektrintos jos viena kitos neveikia (4.1 pav., a). Prilieskime prie kiekvienos tūtelės, pavyzdžiui, į šilką patrintą stiklinę lazdelę. Abi tūtelės įsielektrins vienodo ženklo, teigiamuoju, krūviu ir ims tolti viena nuo kitos (4.1 pav., b). Įelektrintos priešingų ženklų krūviais, jos artės viena prie kitos (4.1 pav., c).



4.1 pav., a



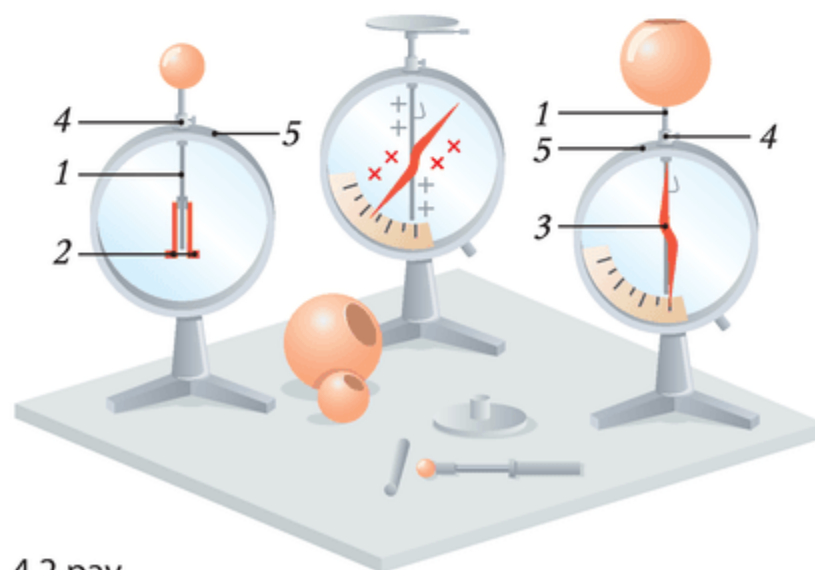
4.1 pav., b



4.1 pav., c

### Elektroskopas

Nustatyti, ar kūnas yra įelektrintas, galima ir specialiu prietaisu, kuris vadinamas **elektroskopu** (gr. *elektron* – gintaras, *skopeō* – žiūriu, stebiu). Mokykloje dažniausiai naudojami dviejų konstrukcijų elektroskopai (4.2 pav.). Juos sudaro metalinis virbas 1, kurio gale įtvirtinti du plono popieriaus lapeliai 2 arba prie kurio prietaisyta lengva rodyklė 3, galinti laisvai sukotis. Virbas perkištas per plastikinį kamštį 4, įstatytą į metalinį iš abiejų pusių įstiklintą gaubtą 5.



4.2 pav.



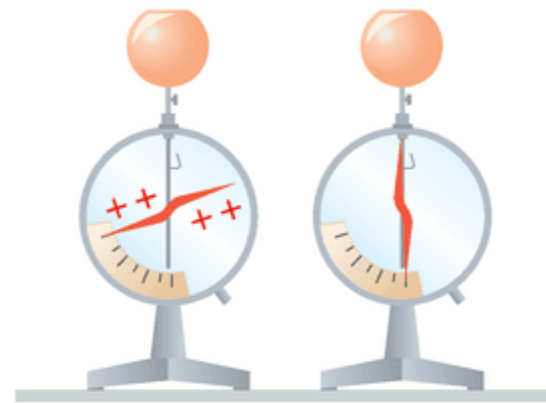
Elektroskopo veikimas yra pagrįstas įelektrintų kūnų sąveika. Tiriamas kūnas priliečiamas prie virbo. Jeigu su juo sujungti lapeliai prasiskečia arba rodyklė pasisuka, tai kūnas yra įelektrintas. Lapeliai ir rodyklė per virbą įsielektrina tokiu pat krūviu ir dėl to nuo jo atsistumia (vienodų ženklų krūviai vienas kitą stumia). Kuo didesnis tiriamo kūno krūvis, tuo didesniu kampu prasiskečia lapeliai arba pasisuka rodyklė. Jei ant dviejų elektroskopų virbų užmautume po metalinį tuščiavidurį rutulį: ant pirmojo – didelį, ant antrojo – mažą, ir rutulius paliestume į šilką patrinta stikline lazdele, pirmojo elektroskopo rodyklė pasisuktų labiau. Tai rodo, kad didelis rutulys įgyja didesnę elektros krūvį negu mažas.

Iš lapelių prasiskėtimo kampo, taip pat kampo tarp rodyklės ir virbo galima spręsti, ar elektroskopo krūvis padidėjo, ar sumažėjo.

## Elektros krūvio dalumas

**2 bandymas.** Įelektrinkime metalinį rutulį, pritvirtintą prie elektroskopo virbo. Elektroskopo rodyklė pasisuka tam tikru kampu (4.3 pav., a). Sujunkime šį rutulį metaliniu strypeliu su tokiu pat, tačiau neįelektrintu rutuliu, pritvirtintu prie kito elektroskopo. Pirmame elektroskope kampas tarp rodyklės ir virbo sumažėjo perpus, o antrojo rodyklė pasisuko tokiu pat kampu kaip pirmojo (4.3 pav., b). Taigi pusė elektros krūvio iš pirmo rutulio perėjo į antrąjį – krūvis pa-

sidalijo į dvi lygias dalis. Jeigu bet kurį iš šių elektroskopų dar kartą sujungtume su tokiu pat neįelektrintu elektroskopu, krūvis vėl pasidalytų pusiau ir gautume  $\frac{1}{4}$  pradinio krūvio. Tęsdami procesą, gal taip galėtume dalyti krūvį iki nulio? Tikslūs bandymai rodo, kad yra krūvio dalijimo riba, t. y. egzistuoja dalelė, turinti mažiausią krūvį, kurio daugiau dalyti negalima. Ši dalelė buvo pavadinta **elektronu**. Skaitinę jo krūvio vertę 1911 m. pirmasis tiksliausiai nustatė amerikiečių fizikas Robertas Milikenas (*Millikan*).



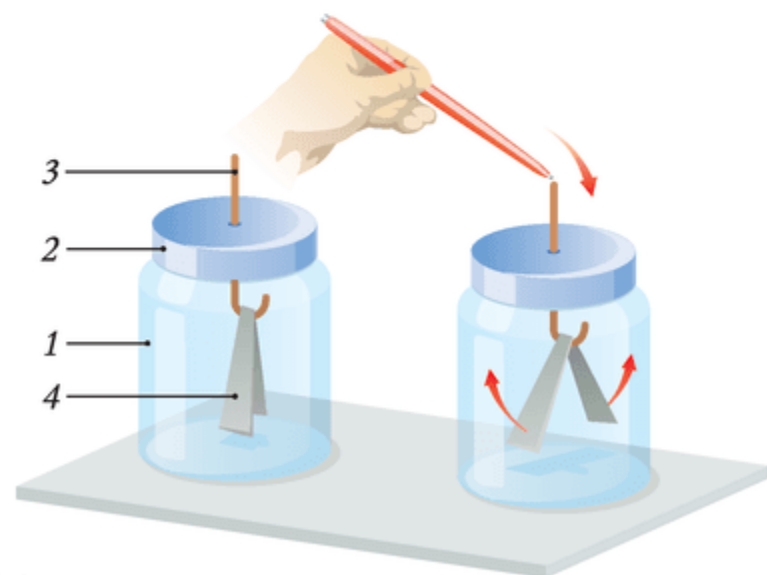
4.3 pav., a



4.3 pav., b

## Projektas „Elektroskopas“

Pasigaminkite įvairių elektroskopo modelių. Vieno iš jų pavyzdys pateiktas 4.4 paveiksle; čia 1 – stiklainis, 2 – dangtelis, 3 – vinis, 4 – aliuminio folijos lapeliai. Palieskite elektroskopo vinį koku nors įelektrintu daiktu. Paaiškinkite savo prietaiso veikimą.



4.4 pav.



### Tai įdomu

★ Kad egzistuoja dviejų rūšių elektra, 1733 m. pastebėjo prancūzas Šarlis Diufė (*Du Fay*). Jis nustatė, kad patrinti į audinį stiklo ir dervos rutuliukai vienas kitą traukia, o įelektrinti du stiklo arba dervos rutuliukai stumia. Todėl elektrą Diufė pavadino stikline ir dervine.

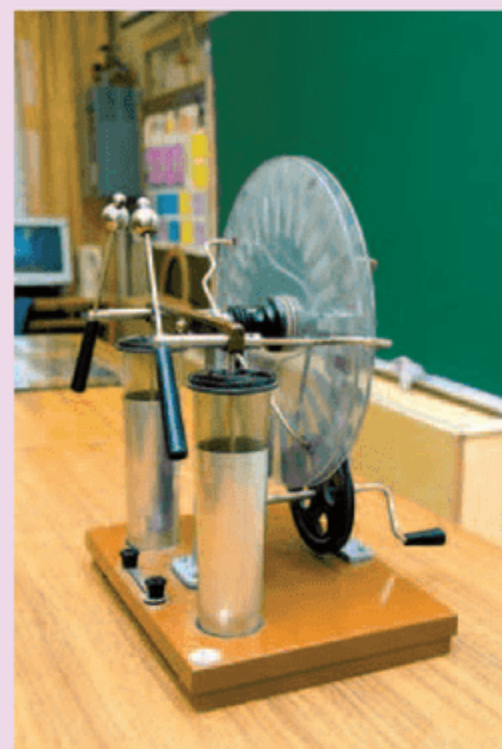
★ 1891 m. airių fizikas Džordžas Stonis (*Stoney*) nedalomą neigiamąjį elektros krūvį pasiūlė vadinti elektronu.

★ Teigiamai ir neigiamai įelektrintų kūnų sąvoką

1747 m. pirmasis pavar-tojo amerikiečių politinis veikėjas, publicistas ir mokslininkas Bendžaminas Franklinas (*Franklin*).

★ Anglų fizikas Džozefas Džonas Tomsonas (*Thomson*) 1897 m. eksperimentuodamas aptiko elektroną.

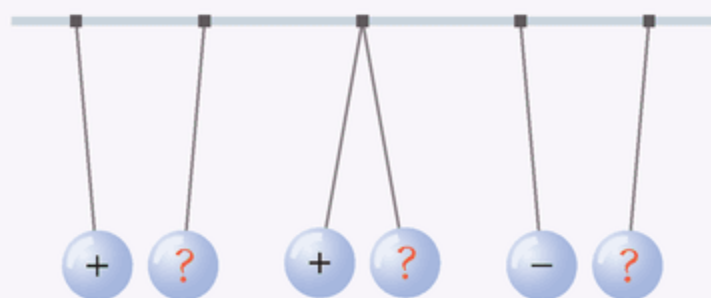
★ Didelius skirtingų ženklų elektros krūvius galima gauti elektrostatine mašina (4.5 pav.), kurią 1878 m. sukonstravo anglas Dž. Vimšerstas (*Wimshurst*).



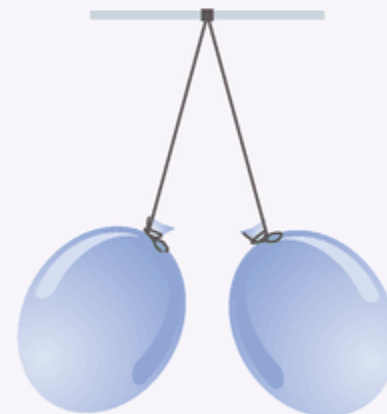
4.5 pav.

### Užduotys

1. Apvalų pieštuką apvyniokite folija, paskui atsargiai jį ištraukite. Išeis tūtelė. Pasidarykite ir antrąją. Tada pakabinkite abi tūteles ant kaproninių siūlų ir atlikite šiame skyrelyje aprašytą 1 bandymą. Krūvių šaltiniai gali būti įelektrinta stiklinė, šukos, plastikinė linuotė ir kt.
2. Pripūstą oro balionėlį užriškite ilgu siūlu ir patrinkite vilnos, popieriaus ar kaprono skiautele. Laikydami už siūlo, artinkite balionėlį prie kambario sienos, popieriaus skiautelių. Bandymą pakartokite dar su dviem balionėliais. Paaiškinkite, kaip artinami daiktai veikia vienas kitą.
3. Kokio ženklo krūvį turi klaustukais pažymėti rutuliukai (4.6 pav.)?



4.6 pav.

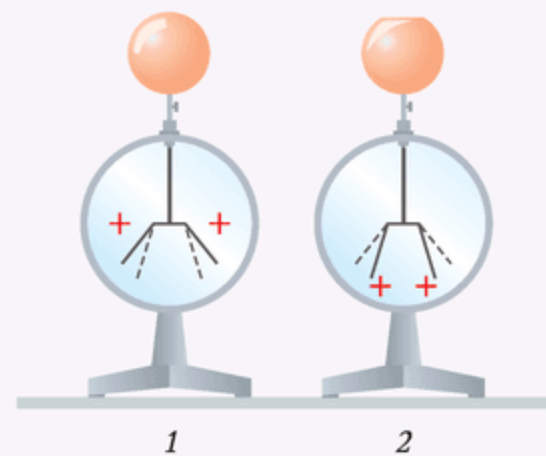


4.7 pav.

4. Ant kaproninių siūlų pakabinti du lengvi vienodo ženklo krūviais įelektrinti balionai (4.7 pav.). Kas atsitiks šiems balionams nesvarumo sąlygomis?
5. Ant kaproninių siūlų kabo dvi vienodos lengvos folijos tūtelės. Viena jų įelektrinta. Kaip, neturint jokių prietaisų ir medžiagų, nustatyti, kuri tūtelė yra įelektrinta?
6. Atliekant kūnų įelektrinimo bandymus, įvairius įelektrintus kūnus patariama kabinti ant šilkininių ar kaproninių siūlų. Kodėl?



7. Brūkšnine linija (4.8 pav.) pažymėta įelektrintų elektroskopų lapelių pradinė padėtis. Virbą palietus įelektrinta lazdele, lapeliai užėmė padėtį, pažymėtą ištisine linija. Kurio ženklo elektros krūviu buvo įelektrinta lazdele abiem atvejais?
8. Ant elektroskopo virbo užmaukite rutulį ir jį įelektrinkite. Tada prie jo priartinkite (neliesdami) įelektrintą metalinį strypą. Kaip ir kodėl pasikeis elektroskopo rodyklės padėtis?
9. Vieno elektroskopo rutulys įelektrintas teigiamai, kito toks pat – neigiamai. Abiejų elektroskopų rodyklės nukrypusios vienodai. Kaip nustatytumėte, kurio rutulio krūvis yra neigiamas?
10. Kodėl elektroskopo strypas gaminamas iš metalo?



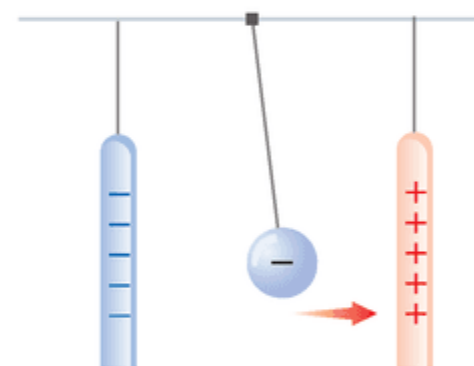
4.8 pav.

11. Kodėl įelektrintas elektroskopas ilgai išsielektrina?
12. Kodėl elektroskopas išsielektrina palietus jo rutuliuką pirštu?

## 4.2. Elektrinis laukas

Žinome, kad įelektrinti kūnai veikia vienas kitą per atstumą. Kaipgi perduodamas šis poveikis? Mašinosse viena dalis veikia kitą, kai abi tiesiogiai liečiasi arba yra sujungtos grandine ar diržu. Vadinasi, ir elektros krūvi turi kažkas perduoti. Gal šį poveikį perduoda oras? Įelektrintą elektroskopą pastatę po siurblio gaubtu ir iš gaubto išsiurbę orą, matytume, kad lapeliai prasiskečia ir beorėje erdvėje. Taigi įelektrintų kūnų sąveikai perduoti oras nereikalingas. Gal tarp įelektrintų kūnų yra kokia nors kita materialinė sąveika?

Į šį klausimą atsakė anglų mokslininkas Maiklas Faradėjus (*Faraday*, 1791–1867). Jis priėjo išvadą, kad erdvė aplink įelektrintą kūną skiriasi nuo erdvės, supančios neįelektrintą kūną. Aplink įelektrintą kūną yra ypatingos formos materija (lot. *materija* – medžiaga, daiktų būsena), tiesiogiai nejuntama jutimo organais, – **elektrinis laukas**. Jis tam tikra jėga per atstumą veikia kitą kūną, turintį elektros krūvį. Ta jėga buvo pavadinta **elektrine jėga**. Taigi **aplink įelektrintus kūnus esanti tam tikros formos materija, kurioje veikia elektrinės jėgos**,



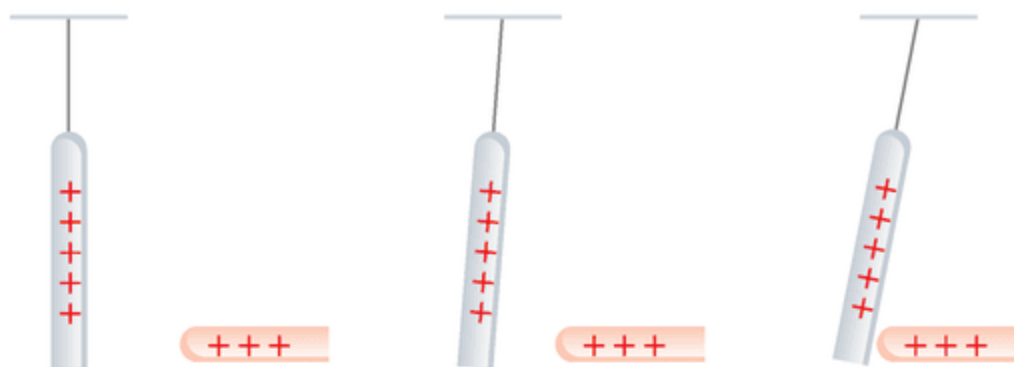
4.9 pav.

**vadinama elektriniu lauku**. Šio lauko poveikis priklauso nuo jį sukuriančio krūvio ženklo: vienas kitą stumia, įvairiarūšiai – traukia.

**Pavyzdys.** Tarp dviejų įvairiarūšių krūvių įelektrintų plokštelių ant siūlo pakabinamas neigiamąjį krūvį turintis rutuliukas. Jį nuo savęs stumia neigiamai įelektrinta plokštelė (4.9 pav.) ir traukia teigiamąjį krūvį turinti plokštelė. Visa tai vyksta tarp plokštelių esančiame elektriniame lauke.

**1 bandymas.** Ant siūlo pakabinkime įelektrintą folijos tūtelę. Prie jos artinkime tokio pat ženklo krūvį turinčią lazdele (4.10 pav.). Stebė-

4.10 pav.

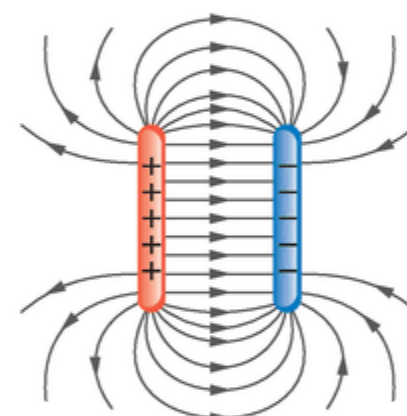
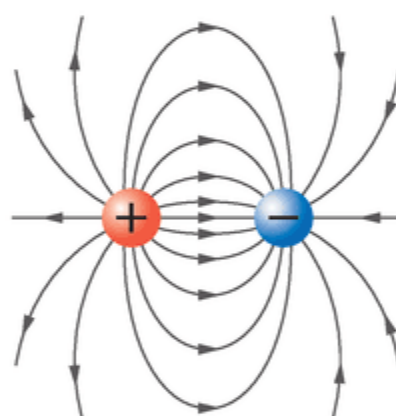
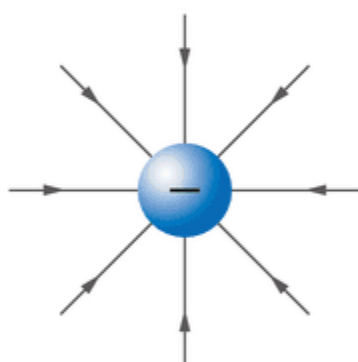
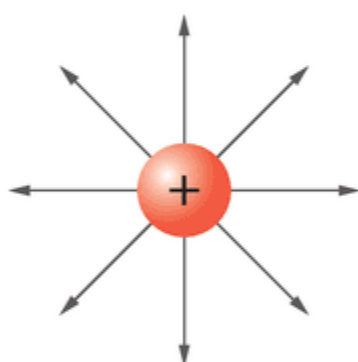


kime, kaip kinta siūlo nuokrypio kampas. Kuo arčiau tūtelės yra lazdelė, tuo didesne jėga tūtelę veikia lazdelės elektrinis laukas. Vadinasi, **arti įelektrintų kūnų elektrinis laukas yra stipresnis, toliau nuo jų – silpnesnis.**

Faradėjus pasiūlė ir elektrinio lauko modelį – vaizduoti lauką vadinamosiomis **jėgų linijomis**. Elektrinio lauko jėgų linijų kryptis pasirinkta tokia: jėgų linijos išeina iš kūno, turinčio teigiamąjį krūvį, ir sueina į kūną, kurio krūvis neigiamas (4.11 pav.). Kadangi arčiau kūno laukas yra stipresnis, jėgų linijos čia išsidėsto tankiau. 4.12 paveiksle parodyta keletas elektrinio lauko vaizdų.

Elektrinio lauko buvimą patvirtina bandymai, iliustruojantys, kad elektrinis laukas veikia medžiagos daleles.

**2 bandymas.** Iš aliuminio folijos iškirpkime du skritulėlius ir dvi pailgas juosteles. Prilipinkime juos prie plokščio stiklinio indo dugno. Į indą įpilkime glicerolio, ricinos aliejaus ar kurio nors kito klampaus nelaidaus skysčio ir įberkime manų kruopų. Skritulėlius ir juosteles įelektrinkime elektrostatine mašina. Aplink jas susidarys elektrinis laukas, kuriame manų kruopos išsidėstys išilgai jėgų linijų. Gausime 4.12 paveiksle parodytą vaizdą.

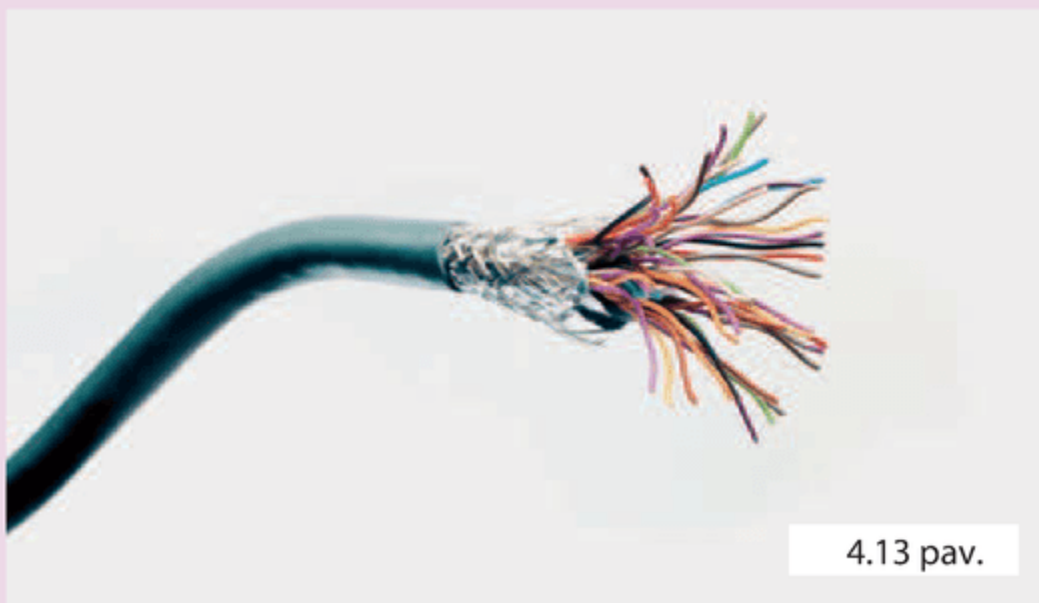


4.11 pav.

4.12 pav.

### Tai įdomu

✳ Nejudančių (kitais – statinių) elektros krūvių kuriamas elektrinis laukas vadinamas **elektrostātiniu lauku** (gr. *statos* – stovintis). Laidininkų viduje elektrostatinio lauko nėra. Šia savybe pagrįsta elektrostatinė apsauga, arba ekranavimas, t. y. objekto ar aplinkos apsauga nuo elektrinio lauko poveikio. 4.13 paveiksle pavaizduotas ekranuotasis kabelis.

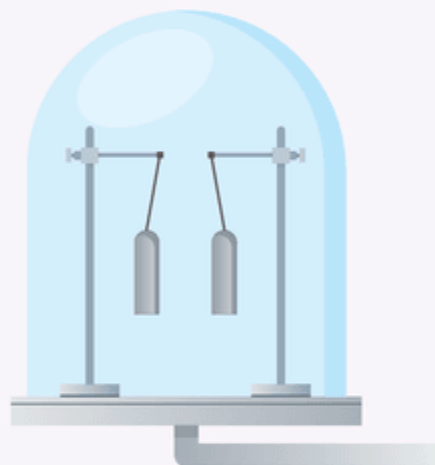


4.13 pav.



## Užduotys

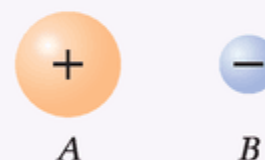
1. Ką vadiname elektriniu lauku? Iš ko sprendžiame, kad jis yra?
2. Po oro siurblio gaubtu ant siūlų pakabintos dvi lengvos įelektrintos folijos tūtelės (4.14 pav.). Ar pakis jų sąveika, išsiurbus iš gaubto orą?
3. Tarp veikiančios elektrostatinės mašinos iškroviklių pakabintas ant siūlo vatos gumulėlis ima svyruoti (4.15 pav.). Paaiškinkite šį reiškinį.
4. Kuriam taške (4.16 pav.) elektrinis laukas yra stipriausias?
5. Teigiamai įelektrinto rutuliuko A elektriniame lauke yra neigiamai įelektrinta maža dulkelė B (4.17 pav.). Kuria kryptimi elektrinė lauko jėga veikia dulkelę?
6. Rutuliukų A ir B elektros krūviai yra vienodo dydžio, bet priešingų ženklų (4.18 pav.). Ar įelektrinto rutuliuko C elektrinis laukas veikia rutuliukus A ir B vienoda jėga? Kokia tos jėgos kryptis?
7. Neigiamai įelektrintas rutuliukas A perkeliama į neigiamai įelektrinto rutuliuko F elektrinio lauko taškus B, C, D ir E (4.19 pav.). Kuriam taške rutuliuką veiks didžiausia jėga, kuriame – mažiausia?
8. Pavaizduokite neigiamai įelektrinto strypelio elektrinio lauko jėgų linijas.
9. Neigiamai įelektrintas alyvos lašelis lėtai krinta ant plokštelės, kurios krūvį galima keisti. Iš pradžių plokštelė yra įelektrinta neigiamai. Ką reikia daryti, kad lašelis:  
a) sustotų; b) imtų kilti aukštyn?



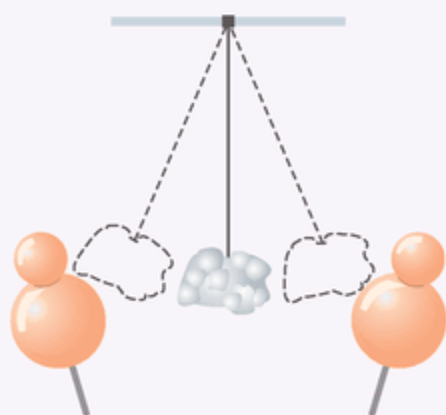
4.14 pav.



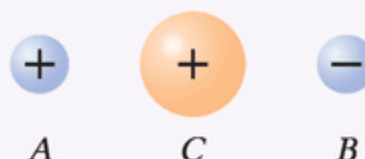
4.16 pav.



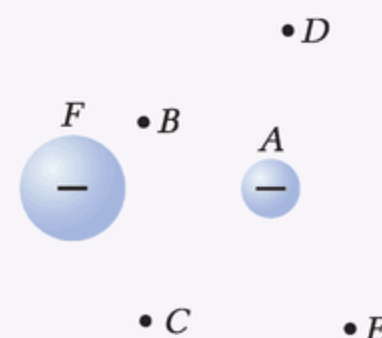
4.17 pav.



4.15 pav.



4.18 pav.



4.19 pav.

## 4.3. Kūnų įelektravimo aiškinimas

### Kodėl kūnai įsielektrina?

VII ir VIII klasėje per fizikos ir chemijos pamokas susipažinę su atomo sandara, sužinojome, kad įprastinėmis sąlygomis atomas yra neutralus, nes teigiamasis jo branduolio krūvis lygus neigiamajam aplink branduolį skriejančių elektronų krūviui. Vadinasi, neutralūs ir iš tokių atomų sudaryti kūnai. Iš kurio nors kito kūno gavę elektronų, šie kūnai įgyja neigiamąjį krūvį, o juos atidavęs kūnas – teigiamąjį krūvį. Todėl teigiamą arba neigiamą kūnų įsielektrinimą galima paaiškinti elektronų trūkumu arba pertekliumi. Kūnams įsielektrinant, krūviai nesukuriami; jie tik pasidalija tarp kūnų – elektronai pereina iš vieno jų į kitą. Kiek elektronų netenka vienas kūnas, tiek jų pasiima kitas.

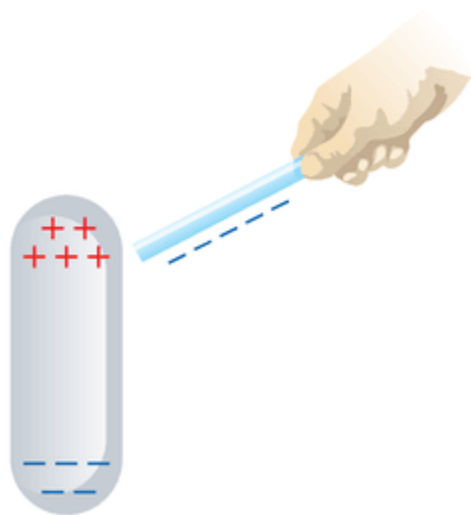
Kūnus įelektrindavome trindami vienus į kitus arba suliesdami su įelektrintais kūnais. Trinant atsiranda geresnis sąlytis tarp kūnų, todėl susidaro palankesnės sąlygos pereiti elektronams. Ypač lengvai elektronai pereina iš vieno metalo į kitą, mat metaluose, kaip žinome, yra elektronų, silpnai susijusių su branduoliu. Kai metalas atsiduria elektriniame lauke, šie elektronai, lauko jėgų veikiami, ima laisvai judėti nuo vieno branduolio prie kito, todėl jie vadinami **laisvaisiais elektronais**. Metaliniu virbu sujungus neįelektrintą elektroskopą su neigiamai įelektrintu elektroskopu, laisvieji virbo elektronai atsiduria elektriniame lauke ir pradeda judėti neįelektrinto elektroskopo link – šis įsielektrina neigiamai.

### Įelektrinto ir neutralaus kūno sąveika

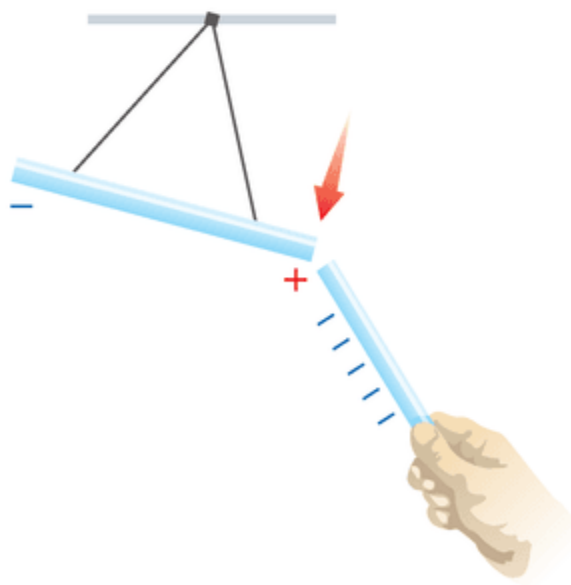
Išsiaiškinus kūnų įelektravimo reiškinį, galima geriau suprasti, kodėl įelektrintas kūnas traukia neįelektrintą kūną. Juk įelektrinto kūno elektrinis laukas veikia tik įelektrintus kūnus.

**1 bandymas.** Prie neutralaus laidaus kūno artinkime neigiamai įelektrintą lazdelę. Jos elektrinis laukas pradeda veikti elektringąsias daleles, iš kurių susideda neutralaus kūno atomai. Lauko veikiami, kūno atomų teigiamieji branduoliai pa-

judėti negali, o laisvieji elektronai ima tolti nuo neigiamai įelektrintos lazdelės. Arčiau jos esanti neįelektrinta kūno dalis įsielektrina teigiamai, o toliau esanti – neigiamai (4.20 pav., a). Teigiamai įelektrinta kūno dalis yra arčiau neigiamai įelektrintos lazdelės, todėl artėja prie jos. Kūnui palietus lazdelę, dalis jos elektronų pereina į kūną ir šis įsielektrina neigiamai. Tai ypač ryškiai matyti, kai kūnai yra lazdelės formos (4.20 pav., b).



4.20 pav., a



4.20 pav., b



## Ižeminimas

Atlikdami bandymą su dviem vienodais elektroskopais: įelektrintu, neįelektrintu (žr. 4.3 pav.), įsitikinome, kad elektros krūvis, kurio neteko pirmo elektroskopo rutulys, perėjo į antrojo rutulį – krūvis pasidalijo pusiau.

**2 bandymas.** Pakartokime 4.3 paveiksle pavaizduotą bandymą, tik dabar prie antro, neįelektrinto, elektroskopo virbo pritvirtinkime didesnį rutulį. Abu rutulius sujunkime metaliniu strypeliu. Antro elektroskopo rodyklė pakrypo labiau negu pirmojo (4.21 pav.), vadinasi, į didesnį rutulį perėjo daugiau negu pusė pirmajame rutulyje sukaupto krūvio. Keisdami antro elektroskopo rutulio dydį, galėtume pastebėti tokį dėsningumą: **kuo didesnis kūnas, kuriam perduodamas krūvis, tuo didesnė krūvio dalis į jį pereina.**

Jei įelektrintą rutulį metaliniu strypeliu (laidininku) sujungtume su žeme, į ją pereitų beveik visas rutulio krūvis. Rutulys taptų neutralus, nes Žemės rutulys nepalyginamai didesnis už elek-

troskopo rutulį. Toks elektros krūvio perdavimas žemei vadinamas **ižėminimu**. Kai rutulys įelektrintas teigiamai, elektronai iš žemės pereina į jį, kai neigiamai – iš jo nuteka į žemę.

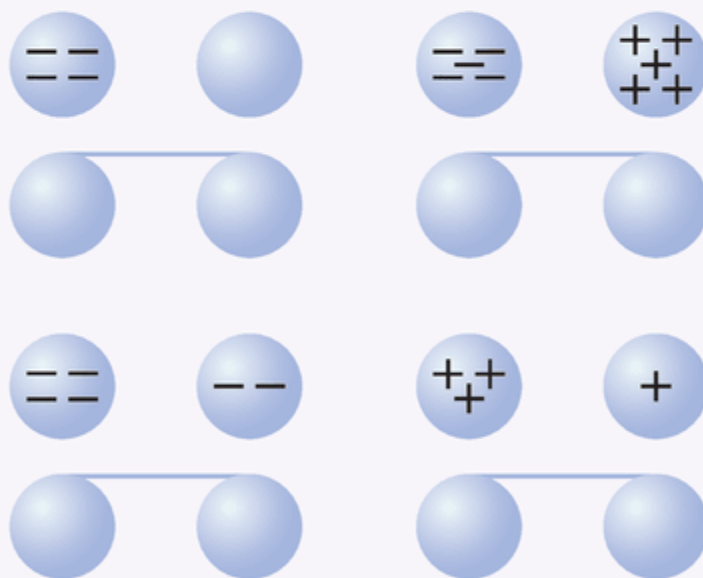
Rutulį galėtume ižeminti ir nenaudodami metalinio strypelio. Pakaktų tik paliesti jį ranka. Rutulio elektros krūvis per mūsų kūną nutekėtų į žemę.



4.21 pav.

### Užduotys

1. Ar neįelektrintuose kūnuose yra elektros krūvių?
2. Ar teisingas toks teiginys: „Trinant vieną į kitą elektriškai neutralius kūnus, sukuriama elektros krūviai“?
3. Kodėl atomas yra elektriškai neutralus?
4. Ar yra tokių atomų branduolių, kurių elektros krūvis mažesnis už protono krūvį?
5. Ar gali būti kurios nors neigiamosios dalelės krūvis lygus:
  - a) 1,5 elektrono krūvio;
  - b)  $\frac{1}{2}$  elektrono krūvio;
  - c) 3 elektronų krūviui?
 Atsakymą pagrįskite.
6. Kiek elektronų, protonų ir neutronų turi neutrali vandens molekulė?
7. 4.22 paveiksle pavaizduotos kelios skirtingai įelektrintų metalinių rutuliukų poros (viršu-



4.22 pav.

tinės padėties). Minusai žymi neigiamąjį elektros krūvį (elektronų perteklių), plusai – teigiamąjį (elektronų trūkumą). Kuo daugiau ženklų, tuo didesnis rutuliuko krūvis. Vienodas ženklų



skaičius – krūviai lygūs. Plusais ir minusais pavaizduokite, kaip tarp rutuliukų pasiskirsto elektros krūvis, kai rutuliukai sujungiami viela (apatinės padėties). Rodykle pažymėkite kryptį, kuria juda elektronai, sujungiant rutuliukus.

8. Ar pasikeis neigiamai įelektrinto kūno masė, kai jį paliesime pirštu?

9. Suliečiami du rutuliai, kurių vienas įelektrintas neigiamai, o kitas – teigiamai. Kaip pakinta kiekvieno rutulio masė? Kodėl?

10. Kodėl benzinvežiai turi kabančią grandinę, kurios vienas galas velkasi žeme?

11. Nusileidus lėktuvui, ant žemės nuleidžiamas metalinis lynas, sujungtas su lėktuvo korpusu. Kodėl?

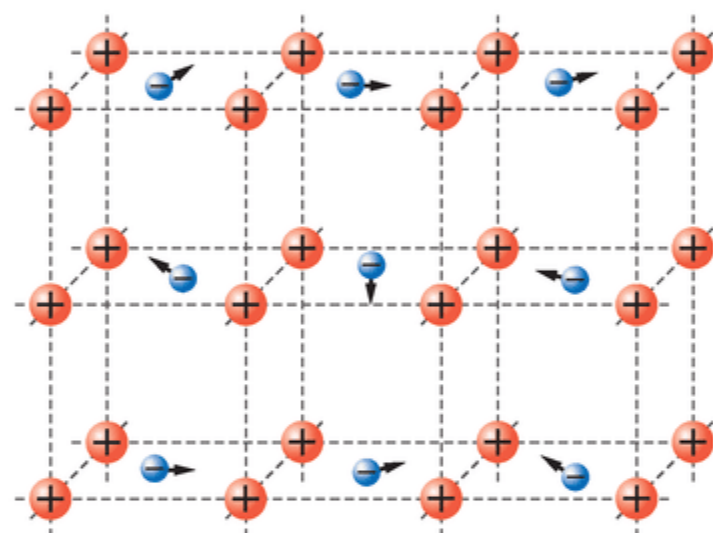
## 4.4. Elektros srovė metaluose

### Elektros srovės sąvoka

VII klasėje bendrais bruožais susipažinome su elektros srove ir šiluminiu, magnetiniu bei cheminiu jos veikimu. Tačiau tiksliai atsakyti į klausimą, kas yra elektros srovė, padės ką tik išnagrinėti elektriniai reiškiniai.

Žinome, kad metalų atomų išoriniai elektronai gali laisvai pereiti iš vieno atomo į kitą. Taigi metalus sudaro teigiamieji jonai ir laisvieji elektronai. Pastarieji erdvėje tarp atomų juda netvarkingai (šiluminis judėjimas; 4.23 pav.). Atsidūrę elektriniame lauke, laisvieji elektronai ima judėti kryptingai. Tokį daugelio elektronų judėjimą pavadiname **elėktros srove**.

Panašiai skysčiuose gali judėti kitokios elektringosios dalelės – teigiamieji ir neigiamieji jonai. Vadinasi, laidininkuose juda įvairios elektringo-



4.23 pav.

sios dalelės (elektronai, jonai), kitaip dar vadinamos **krūvininkais**. **Kryptingas elektringųjų dalelių judėjimas vadinamas elėktros srove**.

### Elektros srovės tekėjimo sąlygos

Kad laidininku tekėtų elektros srovė, reikia dviejų dalykų: 1) **judrių elektringųjų dalelių** ir 2) **elektrinio lauko**. Veikiamos to lauko, elektringosios dalelės ims slinkti laidininku elektrinių jėgų veikimo kryptimi – atsiras elektros srovė.

Elektrinį lauką sukuria elektros srovės šaltinis. Čia teigiamąjį ir neigiamąjį krūvį turinčios dalelės, veikiamos mechaninės, cheminės, vidinės

ar kitokios energijos, atsiskiria vienos nuo kitų ir kaupiasi šaltinio poliuose (viename – teigiamosios dalelės, kitame – neigiamosios). Tarp jų susidaro elektrinis laukas. Sujungus polius laidininku, kuriame yra krūvininkų (metaluose – elektronų, elektrolituose – jonų), juo pradeda tekėti elektros srovė. Kad ji nesilpnėtų, elektrinis laukas laidininke turi būti visą laiką, todėl srovės šaltinyje krūvininkus reikia perskirti nuolat.



Butuose įrengti elektros lizdai nėra savarankiški srovės šaltiniai. Jie sujungti laidais su elektrinių generatoriais (lot. *generator* – gamintojas),

gaminančiais elektros energiją. Tačiau kišeninio žibintuvėlio baterija, automobilio generatorius, akumuliatorius yra srovės šaltiniai.

## Elektros srovės kryptis

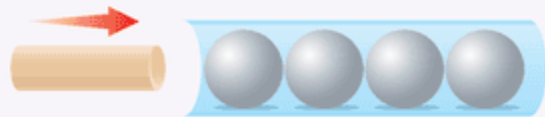
Nors elektronai juda iš srovės šaltinio neigiamą poliaus į teigiamąjį, **elėktros srovės kryptimi**, kaip žinome, **susitarta laikyti kryptį nuo teigiamojo poliaus neigiamąjo link**, nes tuo metu dar nežinota tikroji krūvininkų judėjimo kryptis. Teigiamieji krūvininkai (teigiamieji jonai skysčiuose ir dujose) juda elektros srovės tekėjimo kryptimi.

Elektrinio lauko veikiami laisvieji elektronai juda kryptingai, tačiau nuolat susiduria su metalų jonais. Dėl to elektronai yra stabdomi, daug

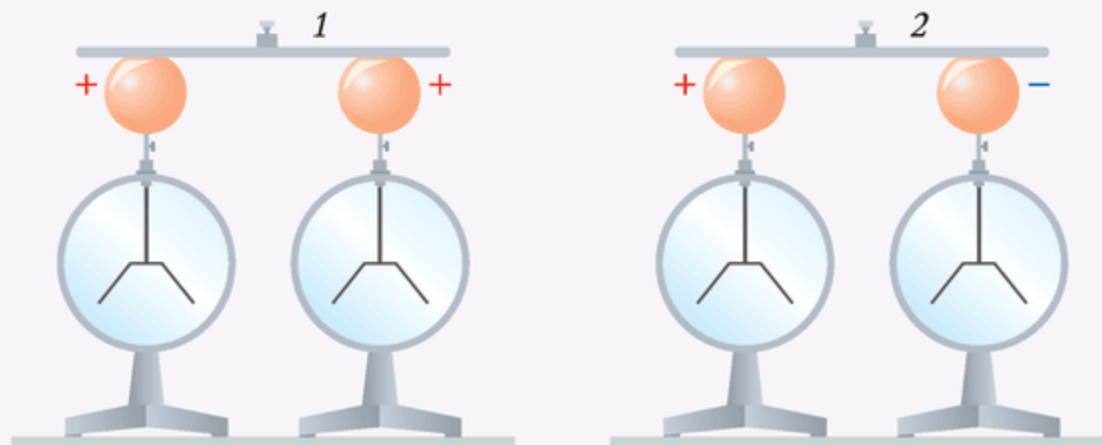
kartų keičia judėjimo kryptį ir vėl yra elektrinio lauko nukreipiami viena kryptimi. Jų vidutinis kryptingas greitis siekia vos 0,1 mm/s. Tačiau susidurdami kryptį keičia tik pavieniai elektronai, dauguma juda viena kryptimi – iš neigiamojo poliaus į teigiamąjį. Nors krūvininkai laidininkuose kryptingai juda nedideliu greičiu, tačiau elektrinis laukas išilgai jų sklinda milžinišku greičiu, lygiu šviesos greičiui tuštumoje (300 000 km/s).

### Užduotys

1. Nurodykite sąlygas, kurių reikia, kad laidininku tekėtų elektros srovė.
2. Ar galima elektros srove laikyti:
  - a) tarp elektrostatinės mašinos rutuliukų (iškroviklių) šokančių kibirkštį;
  - b) žaibą;
  - c) elektronų šiluminį judėjimą?
 Atsakymą pagrįskite.
3. Ranka palietus elektroskopo virbą, elektroskopai išsielektrino. Ar galima tvirtinti, kad tuo metu elektroskopo virbu tekėjo elektros srovė?
4. 4.24 paveiksle pavaizduotas stiklinis vamzdelis, pilnas metalinių rutuliukų. Kairiajame jo gale esantį rutuliuką stukteliame lazdele. Visi rutuliukai pasislinks. Ar galima tokiu bandymu iliustruoti elektronų judėjimą laidininku?
5. Kokios elektringosios dalelės juda elektros srovės tekėjimo laidininku kryptimi?
6. Kuriame iš įelektrintų elektroskopų jungiančių laidininkų atsiras elektros srovė (4.25 pav.)? Kokia bus jos kryptis?
7. Kuo iš esmės skiriasi elektros srovė, tekanti metaliniu laidininku, prijungtu prie srovės šaltinio polių, nuo elektros srovės, atsiradusios tame pat laidininke, kuriuo išelektrinamas elektroskopas?



4.24 pav.



4.25 pav.



## 4.5. Elektros srovės šaltiniai

4.4 skyrelyje nurodėme bendrą elektros srovės šaltinių paskirtį: atskirti teigiamąsias elektringas daleles nuo neigiamųjų ir gauti elektros energiją, kurią būtų galima tiekti vartotojams.

Dabar susipažinkime su keletu elektros srovės šaltinių: **elėktros mašinomis**, **galvāniniais elementais** ir **akumuliātoriais**.

### Elektros mašinos

**1 bandymas.** Sukime elektrostatinės mašinos (žr. 4.4 pav.) rankeną. Išvysime tarp jos rutuliukų (iškroviklių) šokančią kibirkštį – teka elektros srovė.

Nesigilindami į šios mašinos veikimo principą, galime teigti, kad mechaninė energija virto elektros energija. Vėliau aptarsime sudėtingesnes mašinas – elektros generatorius, kurie galin-gose elektrinėse įvairių rūšių energiją (vandens, vėjo, anglių, mazuto, atomo ir kt.) verčia elektros energija.

### Galvaniniai elementai

Tai labai paplitę srovės šaltiniai, naudojami žibintuvėliuose, laikrodžiuose, kai kuriuose žaisluose, televizorių ir grotuvų nuotolinio valdymo pultuose ir t. t. Pasidaryti galvaninį elementą visiškai nesudėtinga.

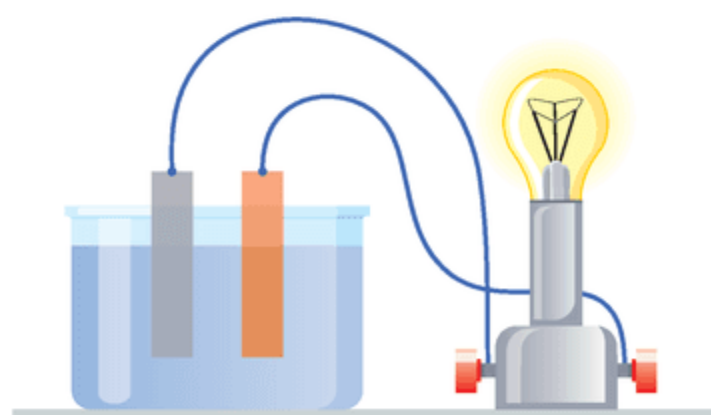
**2 bandymas.** Į stiklinį indą įpilkime silpno sieros rūgšties tirpalo ir įmerkime dvi plokšteles

(elektrodus): cinko ir vario. Prie jų prijunkime lemputę (4.26 pav.). Ji šviečia. Varinį elektrodą pakeiskime angliniu. Lemputė švies, tik dar skaisčiau.

**3 bandymas.** Vieną švininės, cinkinės, varinės arba geležinės vielos galą prijunkime prie galvanometro – jautraus prietaiso elektros srovei matuoti, o kitą įsmeikime į bulvę, obuolį ar citriną (4.27 pav.). Panašiai galvanometrą ir bulvę (arba obuolį, citriną) sujunkime antra kitokio metalo viela. Galvanometro rodyklė nukrypsta, vadinasi, prietaisu teka elektros srovė. Kai į bulvę įsmeigiame dvi to paties metalo vielas (pavyzdžiui, abi švinines), srovė neteka.

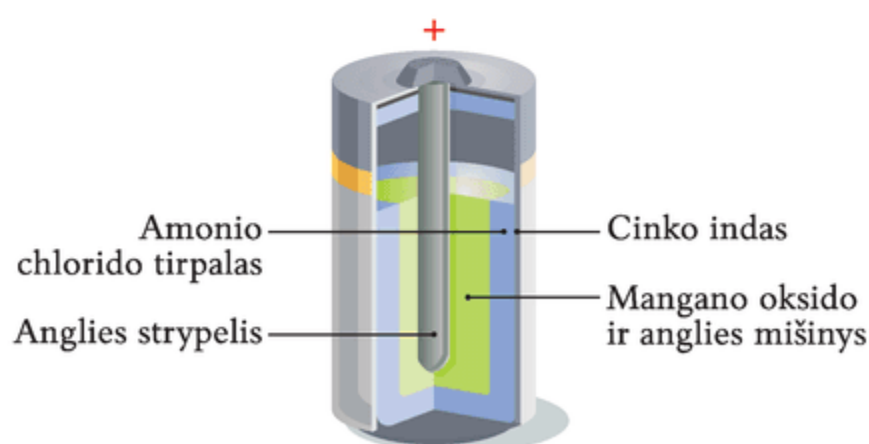


4.27 pav.



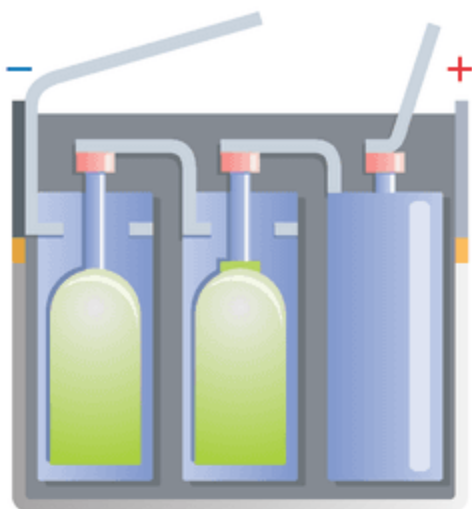
4.26 pav.

Išnagrinėkime kišeninio žibintuvėlio elemento konstrukciją ir veikimą. Šį galvaninį elementą (4.28 pav.) sudaro cinko indas ir anglies strypelis, įdėtas į maišelį su mangano oksido ( $MnO_2$ ) bei anglies mišiniu. Kita indo dalis pripildyta tirštų klijų, pagamintų iš miltų ir amonio chlorido tirpalo. Amonio chlorido tirpalas



4.28 pav.





4.29 pav.

sąveikauja su cinku – vyksta cheminė oksidacijos ir redukcijos reakcija. Nuo cinko atsiskiria teigiamieji jonai, ir jis įsielektrina neigiamai, o anglies strypelis įgyja teigiamąją elektros krūvį. Cheminės reakcijos metu išsiskyrusi energija

virsta elektros energija. Įelektrintas cinko indas ir anglies strypelis vadinami elektrodais. Tarp jų atsiranda elektrinis laukas. Sujungus šiuos elektrodus laidininku, juo ima tekėti elektros srovė.

Keletas sujungtų galvaninių elementų sudaro bateriją. 4.29 paveiksle parodyta kišeninio žibintuvėlio baterija. Jos pirmojo elemento anglies strypelis sujungtas su antrojo elemento cinko indu, o antrojo elemento anglies strypelis – su trečiojo indu. Nuo pirmojo elemento indo ir trečiojo elemento strypelio išvestos dvi metalinės plokštelės – baterijos poliai.

Galvaniniai elementai ir jų baterijos yra vienkartinio naudojimo srovės šaltiniai. Ilgainiui jų viduje esanti cheminė medžiaga (paprastai mangano oksidas) išsiekvoja ir galvaninis elementas pasidaro nebetinkamas naudoti.

## Akumulatoriai

Elektros akumulatoriais (lot. *accumulare* – kaupti) vadinami įtaisai (4.30 pav.), kaupiantys cheminę energiją, kurią galima panaudoti vėliau. Kad akumulatorius būtų srovės šaltinis, juo reikia praleisti elektros srovę, t. y. akumuliatorių įkrauti. Tuo metu dėl jo viduje vykstančių cheminių reakcijų vienas elektrodas įsielektrina teigiamai, kitas – neigiamai.

Įkraunant akumuliatorių, teigiamasis šaltinio polius sujungiamas su teigiamuoju akumulia-

toriaus poliumi, neigiamasis – su neigiamuoju. Akumuliatoriui išsikraunant, cheminė energija virsta elektros energija.

Plačiausiai naudojami rūgštiniai (švino) akumulatoriai. Juos sudaro indas su sieros rūgšties tirpalu, kuriame panardintos dvi švininės gardelės (viena – su įpresuotu puriu švinu, kita – su švino oksidu). Gardelės vieną nuo kitos skiria plastikinė izoliacinė pertvara. Švininė gardelė yra neigiamasis elektrodas, švino oksido gardelė – teigiamasis elektrodas. Patvaresni ir lengvesni už rūgštinius yra šarminiai akumulatoriai. Jų plokštės (geležies, kadmio, cinko ar kt.) panardintos šarmo skiedinyje. Šiems akumulatoriams reikia mažiau priežiūros nei rūgštiniais.

Iš elektros akumuliatorių, kaip ir iš galvaninių elementų, galima sudaryti bateriją. Akumulatoriai ir jų baterijos yra daugkartinio naudojimo srovės šaltiniai, mat juos galima įkrauti daug kartų. Akumulatoriai plačiai naudojami buityje ir transporte: stacionariesiems belaidžiams ir mobiliesiems telefonams maitinti, geležinkelio vagonams ir automobiliams apšviesti, automobilių varikliams užvesti ir pan.



4.30 pav.

### Tai įdomu

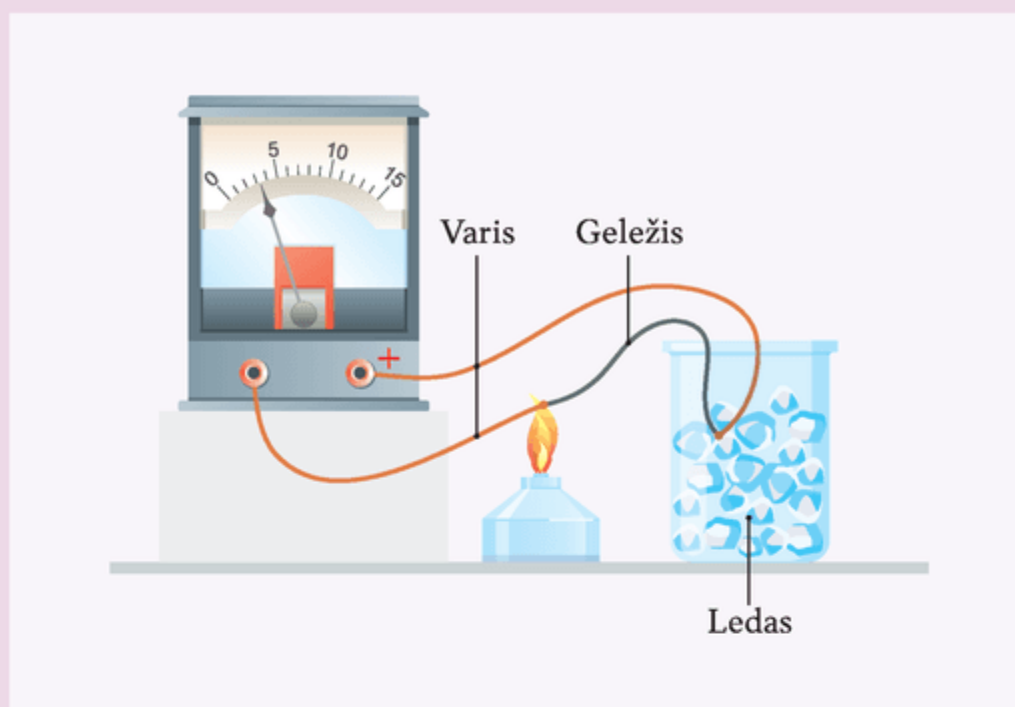
✳ XIX a. pirmojoje pusėje galvaniniai elementai buvo vieninteliai elektros srovės šaltiniai.

✳ Galvaniniai elementai pavadinti pagal italų anatomo ir fiziologo Luidžio Galvanio (*Galvani*, 1737–1798) pavardę. Preparuodamas varles, jis pastebėjo, kad varlės šlaunelė truktelėdavo, kai prie jos priglaidavo du skirtingus metalus. Šis atradimas padėjo italų fizikui ir fiziologui Alesandrui Voltai (*Volta*, 1745–1827) sukurti praktiniam naudojimui tinkamus elektros srovės šaltinius.

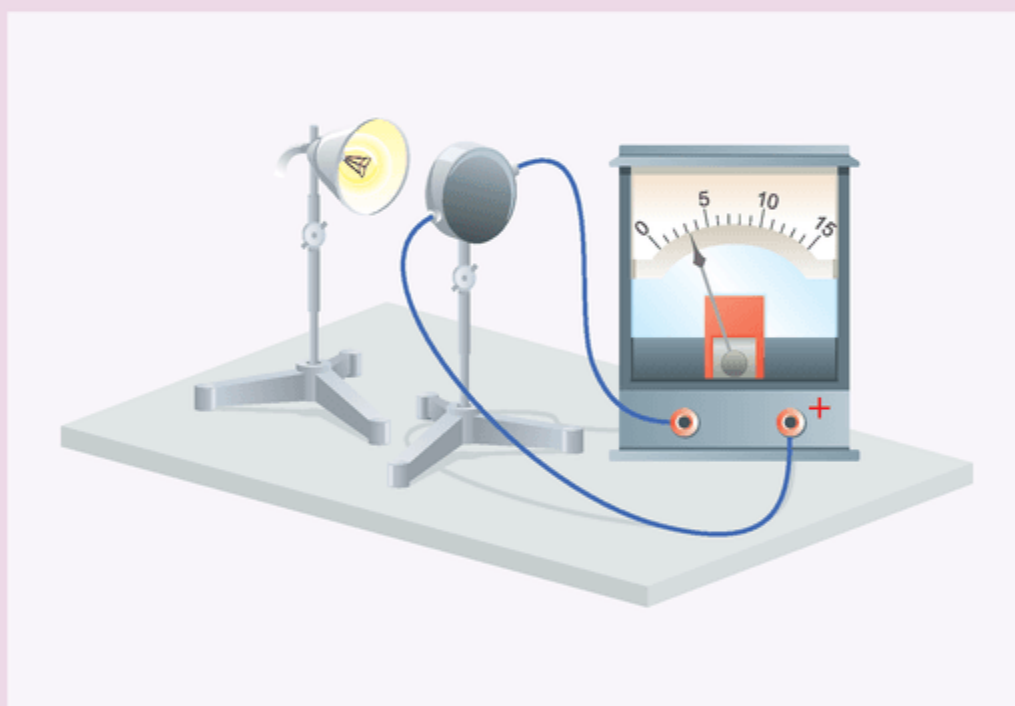
✳ Elektros energija gali virsti ne tik cheminė, bet ir vidinė energija. Sulitavus du nevienodo metalo, pavyzdžiui, vario ir geležies, laidus ir vieną sulitavimo vietą pašildžius, o kitą atšaldžius, laidais pradeda tekėti elektros srovė. Toks šaltinis vadinamas termoelementu (4.31 pav.).

✳ Apšvietus seleną, vario oksidą, silicį ir kai kurias kitas medžiagas, jose šviesos energija virsta elektros energija. Toks srovės šaltinis vadinamas fotoelementu (4.32 pav.).

✳ Nebetinkami naudoti galvaniniai elementai ir akumulatoriai paprastai išmetami. Patekę į sąvartynus, jie gali užteršti ežerus, upes, dirvožemį ar gruntinius vandenius.



4.31 pav.



4.32 pav.

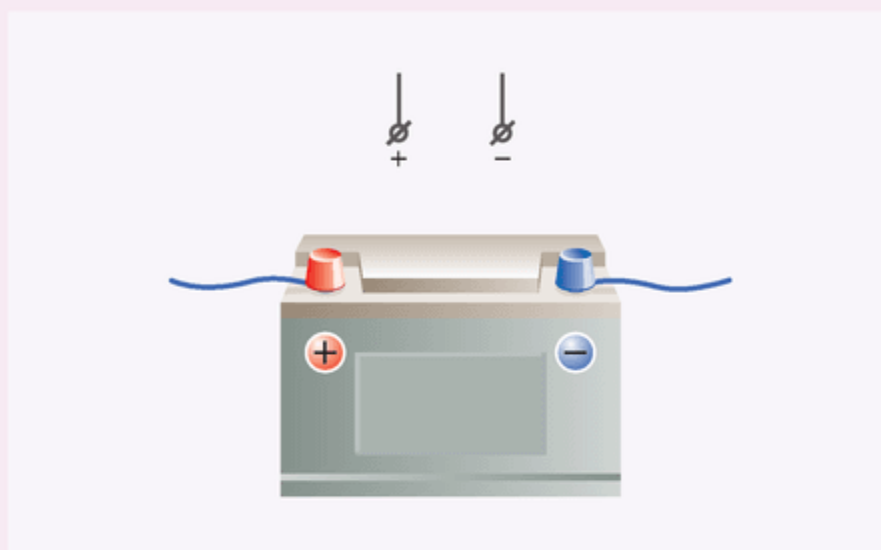
Ypač didelę grėsmę aplinkai kelia juose esantys sunkieji metalai: švinas, gyvsidabris ir kadmis. Kiti metalai: cinkas, varis, manganas, litis ir nikelis – taip pat kaupiasi aplinkoje, todėl jų nereikėtų išmesti kartu su komunalinėmis atliekomis. Panaudotus srovės šaltinius surenkant atskirai ir perdirbant, galima pakartotinai panaudoti

vertingus metalus: manganą, cinką, geležį, šviną ir kt. Šiuo metu daugelyje prekybos centrų, degalinėse, kai kuriose mokyklose ir darželiuose galima pamatyti specialiais ženklais pažymėtų konteinerių, į kuriuos galima mesti nebetinkamus naudoti galvaninius elementus ir akumulatorius.



1. Kokia yra srovės šaltinių paskirtis?
2. Ar galima pasidaryti galvaninį elementą, įmerkus į rūgšties tirpalą:
  - a) dvi varinės plokštes;
  - b) dvi cinkines plokštes?
3. Kaip sukonstruotas galvaninis elementas?
4. Kokie energijos virsmas vyksta įkraunant ir iškraunant akumuliatorių?
5. Reikia įkrauti akumuliatorių. Kaip prijungti prie srovės šaltinio iš akumuliatoriaus gnybtų einančius laidus (4.33 pav.)?
6. Kokie energijos virsmas vyksta galvaniniame elemente, kai juo naudojamas kaip srovės šaltiniu?
7. Paaiškinkite, kaip galvaniniai elementai jungiami į bateriją.

8. Interneto tinklalapiuose paieškokite informacijos apie galvaninių elementų ir akumuliatorių taikymą praktikoje ir parenkite šia tema kolektyvinį projektinį darbą, paskui pristatykite jį klasėje.

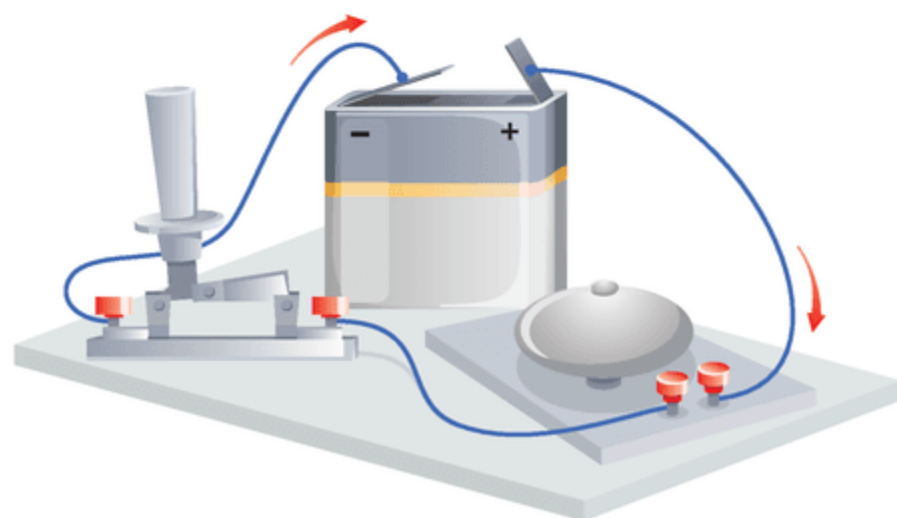


4.33 pav.

## 4.6. Elektrinė grandinė

### Elektrinė grandinė

Srovės šaltiniai maitina elektros energijos imtuvus: lempas, variklius, virykles, įvairius prietaisus. Su jais tie šaltiniai sujungiami laidais. Jungikliais norimu momentu energijos imtuvai įjungiami arba išjungiami. Srovės šaltinis, imtuvai ir jungikliai, sujungti vienas su kitu laidais, sudaro **elektrinę grandinę** (4.34 pav., a). Joje



4.34 pav., a

elektros srovė teka iš teigiamojo šaltinio poliaus (per imtuvus, jungiklius) į neigiamąjį polį (elektronų judėjimo kryptis yra priešinga), šaltinio viduje – iš neigiamojo poliaus į teigiamąjį.

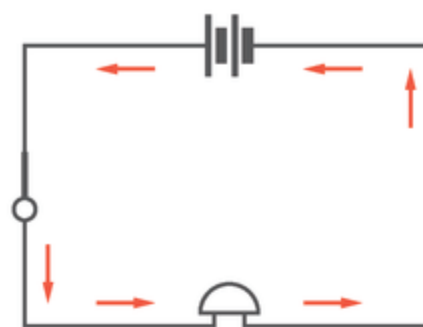
Į elektrinę grandinę įjungtas prietaisas gali veikti tik tada, kai grandinė yra **uždara**, t. y. kai sujungti abu šaltinio poliai ir įjungtas jungiklis. Išjungus jungiklį, grandinė tampa **atvira**, srovė ja neteka. Elektros srovė nustoja tekėti grandine ir tada, kai kurioje nors vietoje nutrūksta jungiamasis laidas.

### Elektrinė schema

Elektrinės grandinės labai dažnai vaizduojamos brėžiniais. Tai ypač svarbu, kai reikia sukurti ar sujungti sudėtingas grandines, ieškoti ge-

dimų. Brėžiniai, kuriuose pavaizduoti elektrinių prietaisų jungimo grandinėje būdai, vadinami **elektrinėmis schémomis** (4.34 pav., b).



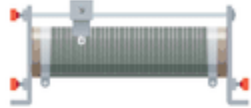







Grandinių dalys, jungimo būdai schemose žymimi sutartiniais ženklais. Prisiminkime kai kuriuos jau žinomus ženklus ir susipažinkime su keletu naujų, vartojamų dažniausiai:



4.34 pav., b

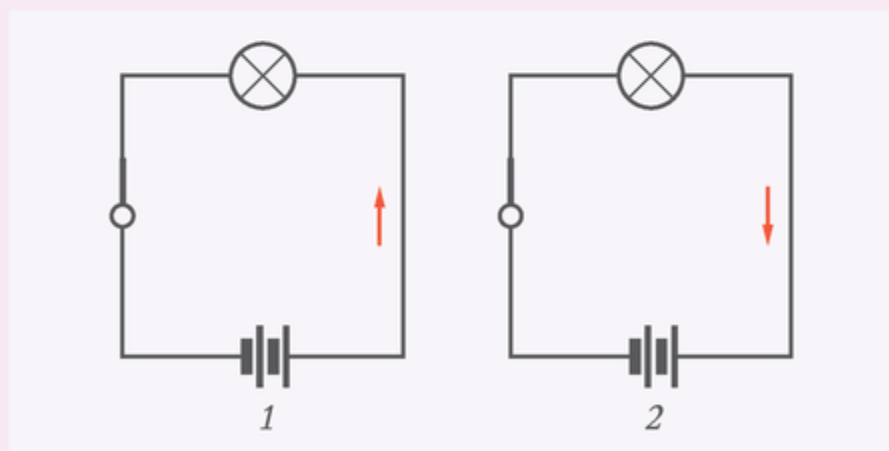
Grandinės dalies pavadinimas	Jos paveikslas	Sutartinis ženklas
Galvaninis elementas, elementų baterija		
Srovės šaltinio gnybtai		
Sujungti laidai		
Susikertantys laidai		
Jungiklis		
Lemputė		
Elektrinis skambutis		



Grandinės dalies pavadinimas	Jos paveikslas	Sutartinis ženklas
Varžas (rezistorius)		
Šliaužiklinis reostatas		
Ampermetras		
Voltmetras		
Saugiklis		

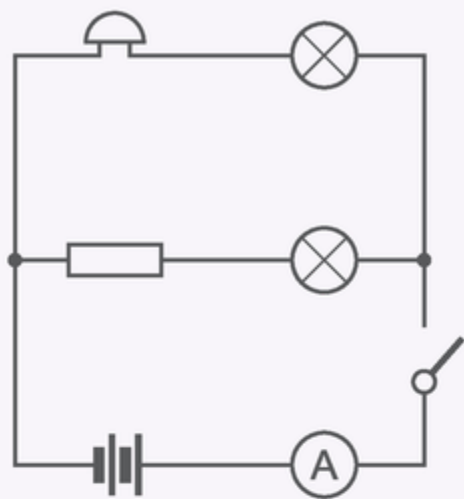
### Užduotys

1. Kokie yra paprasčiausios elektrinės grandinės elementai?

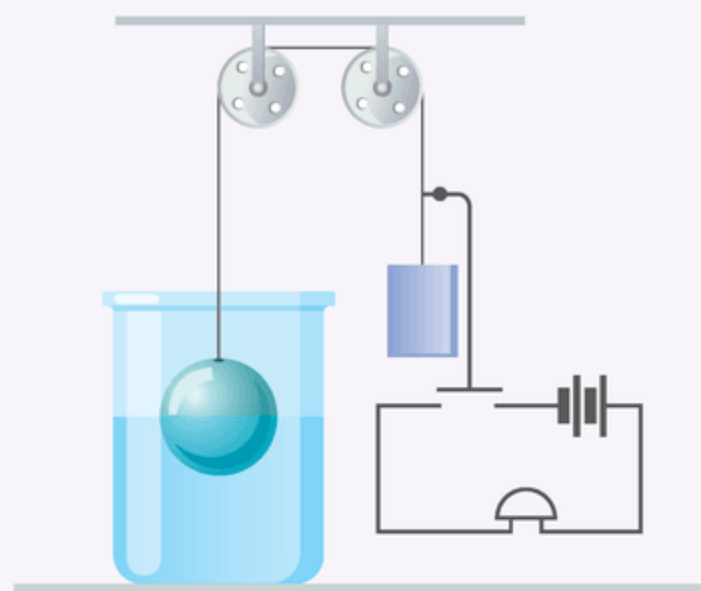


4.35 pav.

2. Išnagrinėkite schemas (4.35 pav.) ir nurodykite, kurioje iš jų rodykle pažymėta elektronų judėjimo kryptis, kurioje – elektros srovės kryptis.
3. Nubraižykite elektrinės grandinės, sudarytos iš lemputės, varžo, jungiklio ir elementų baterijos, schemą. Pažymėkite joje elektros srovės tekėjimo kryptį.
4. Kokie prietaisai įjungti į elektrinę grandinę, kurios schema pavaizduota 4.36 paveiksle?
5. Apie vandens lygį rezervuare signalizuoja automatas. Jo schema pavaizduota 4.37 pa-



4.36 pav.



4.37 pav.

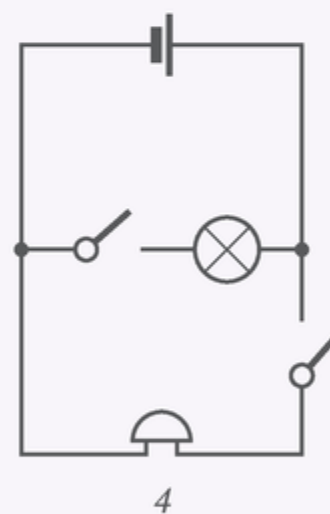
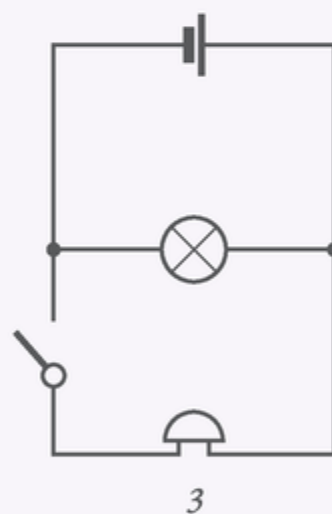
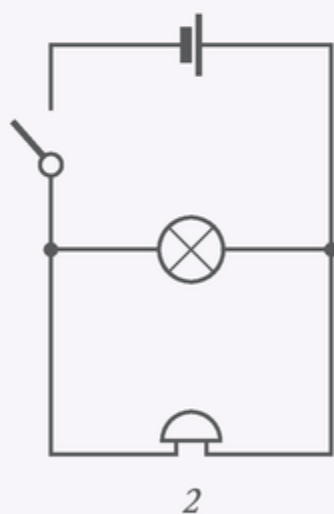
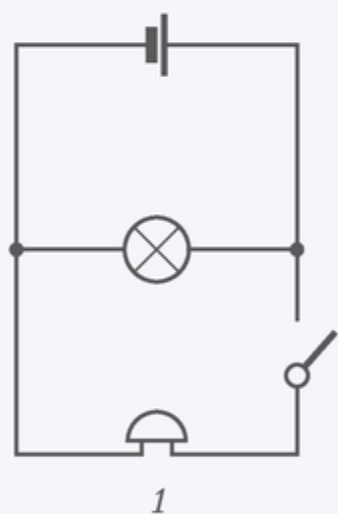
veiksle. Paaiškinkite, kaip veikia šis automatas.

6. Kurioje 4.38 paveikslo schemoje vienu jungikliu galima išjungti ir lemputę, ir skambutį?

7. Elektrinę grandinę sudaro galvaninių elementų baterija, lemputė, du skambučiai ir du jungikliai. Nubraižykite tokią šios grandinės schemą, kad kiekvienas skambutis

būtų įjungiamas atskiru jungikliu ir, įjungiant kiekvieną skambutį, užsidegtų lemputė. Grandinę patikrinkite kompiuterio programa „Crocodile Technology“.

8. Nubraižykite tokios grandinės schemą, pagal kurią vienu metu būtų galima išjungti lemputę ir įjungti skambutį. Grandinę patikrinkite kompiuterio programa „Crocodile Technology“.



4.38 pav.



Elektringosios dalelės	Elektros krūvį turinčios dalelės vadinamos elektringosiomis. Judrios elektringosios dalelės dar vadinamos krūvininkais. Elektronas – dalelė, turinti mažiausią neigiamąjį elektros krūvį.
Kūnų įelektrinimas	Jeigu neigiamasis kūno krūvis lygus teigiamajam jo krūviui, kūnas yra neutralus. Kūnas, kuriam trūksta elektronų, įelektrintas teigiamai. Kūnas, kuriame elektronų yra per daug, įelektrintas neigiamai. Atomas yra elektriškai neutralus, nes teigiamasis jo branduolio krūvis lygus neigiamajam visų jo elektronų krūviui. Ar kūnas yra įelektrintas, galima nustatyti elektroskopu.
Elektrinis laukas	Aplink įelektrintus kūnus esanti tam tikros formos materija, kurioje veikia elektrinės jėgos, vadinama elektriniu lauku. Jis vaizduojamas jėgų linijomis. Arti įelektrintų kūnų šis laukas yra stipresnis, toliau nuo jų – silpnesnis.
Įelektrintų kūnų sąveika	Vienodų ženklų krūviais įelektrinti kūnai vieni kitus stumia, priešingų ženklų – traukia.
Elektros srovė	Kryptingas elektringųjų dalelių judėjimas vadinamas elektros srove. Elektros srovės tekėjimo sąlygos: 1) judrios elektringosios dalelės (metaluose – laisvieji elektronai); 2) elektrinis laukas (jį sukuria srovės šaltinis).
Srovės šaltiniai	Srovės šaltiniai atskiria teigiamąsias elektringąsias daleles nuo neigiamųjų. Tuo metu mechaninė, cheminė ar kitokia energija virsta elektros energija, kuri gali būti tiekiamą vartotojams. Plačiausiai naudojami srovės šaltiniai: • galvaniniai elementai, • akumulatoriai.
Elektrinė grandinė	Srovės šaltinis, imtuvai ir jungikliai, sujungti vienas su kitu laidais, sudaro elektrinę grandinę. Elektros srovė teka tik uždaroje grandinėje iš teigiamojo šaltinio poliaus į neigiamąjį.
Elektrinė schema	Brėžinys, kuriame pavaizduoti elektrinių prietaisų jungimo grandinėje būdai, vadinamas elektrine schema.

## Savikontrolės užduotys

1. Ant kaproninių siūlų kabo kelios poros (gerokai nutolusios viena nuo kitos) iš folijos padarytų rutuliukų (4.39 pav.). Kokio ženklo krūviais jie gali būti įelektrinti?

2. Aliumininis virbas įelektrintas teigiamai. Kaip pakito kai kurie aliuminio atomai?

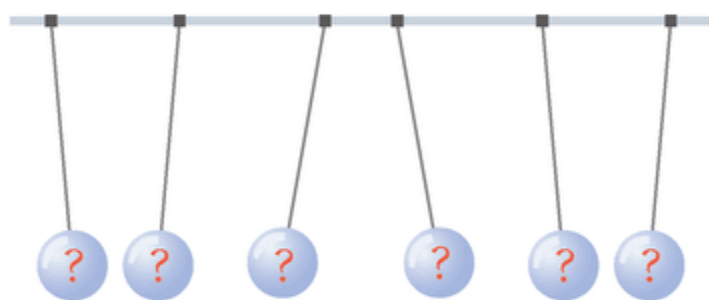
- A Atomai gavo elektronų.
- B Atomai neteko dalies elektronų.
- C Atomai pradėjo judėti greičiau.
- D Atomai nepakito.

3. 4.40 paveiksle pavaizduoti du įelektrinti elektroskopai.

a) Kodėl jų rodyklės nukrypusios nevienodu kampu?

b) Kaip neigiamai įelektrinta lazdele nustatyti, kokią krūvį turi pirmas elektroskopas?

c) Kas atsitiks, abiejų elektroskopų rutulius sujungus metaliniu strypeliu?



4.39 pav.

d) Ką reikia daryti, norint išelektrinti antrą elektroskopą?

4. Prie kabančios ant siūlo teigiamai įelektrintos aliuminio folijos tūtelės artinama neigiamai įelektrinta lazdelė. Kaip kinta jėga, kuria lazdelės elektrinis laukas veikia tūtelę?

- A Mažėja.
- B Didėja.
- C Nekinta.

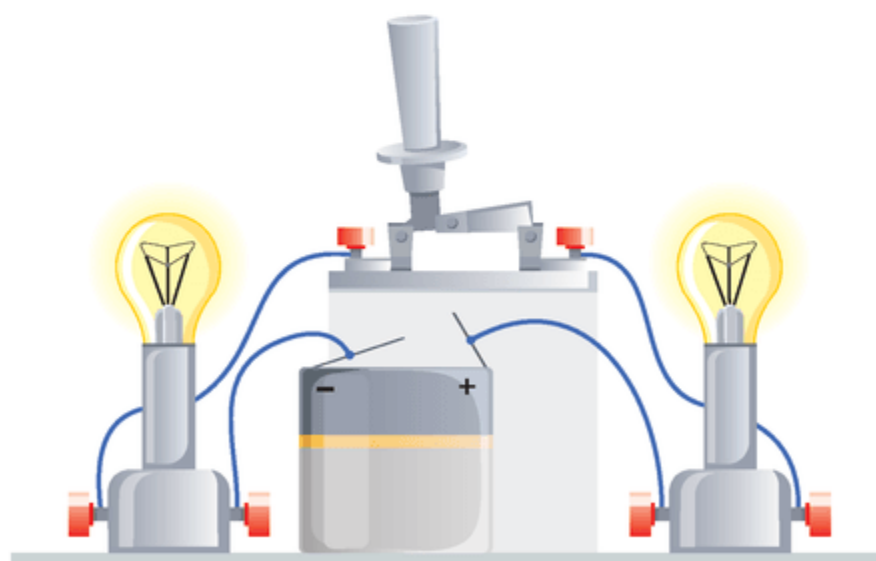
5. Pavaizduokite neigiamai įelektrinto rutulio elektrinio lauko jėgų linijas.

6. Remdamiesi 4.41 paveiksle pavaizduota elektrine grandine, atlikite šias užduotis:

- a) nubraižykite grandinės schemą;
- b) pažymėkite joje elektros srovės tekėjimo kryptį;
- c) nurodykite, kaip ją būtų galima pakeisti.



4.40 pav.



4.41 pav.





# E L E K T R A

## 5 Elektros srovės stipris, įtampa, varža

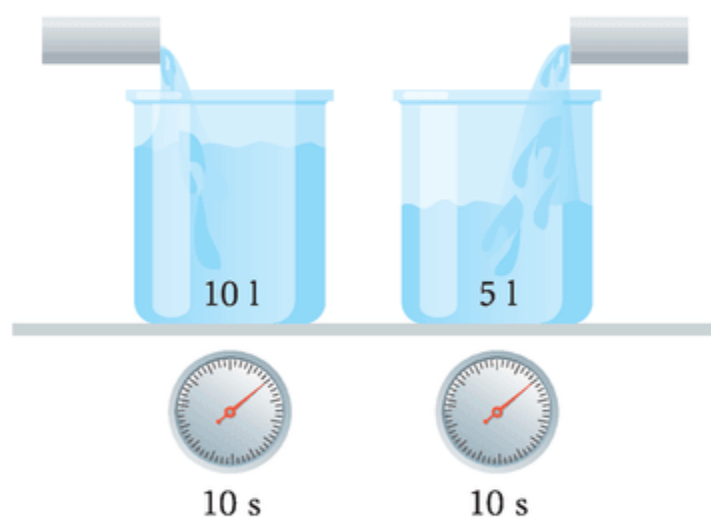
Šiame skyriuje susipažinsite su:

- dviem elektros srovę apibūdinančiais dydžiais – srovės stipriu ir įtampa;
- laidininkų elektrinės varžos sąvoka;
- medžiagos savitosios elektrinės varžos sąvoka;
- kai kuriais į elektrinę grandinę jungiamais prietaisais (ampermetru, voltmetru, varžu, reostatu);
- Omo dėsnio grandinės daliai.

## 5.1. Elektros srovės stipris

### Hidrodinaminė analogija

Elektros srovei apibūdinti vartojami įvairūs fizikiniai dydžiai, tačiau vienas svarbiausių yra **elèktros srovės stìpris**. Jį galima paašškinti remiantis tokia hidrodinamine analògija (gr. *hydor* – vanduo, *dinamikos* – jėgos, jėginis, gr. *analogia* – atitikimas). Tarkime, kad iš dviejų vieno do skerspjuvio vamzdžių bėga vanduo. Per tiek pat laiko iš jų išteka nevienodas vandens kiekis. Todėl galime sakyti, kad vamzdžiais teka nevienodo intensyvumo vandens srovė. Norėdami tiksliai apibūdinti vamzdžių pralaidumą, turime apskaičiuoti, kiek vandens jais prateka per 1 s. Tai galima sužinoti leidžiant vandenį iš vamzdžių į atskirus indus ir pažymint iškėjusio vandens tūrį bei tekėjimo trukmę. 5.1 paveiksle pavaizduotas bandymas rodo, kad per 10 s iš kairiojo vamzdžio išbėga 10 l, iš dešiniojo – 5 l vandens. Vadinas, per 1 s iš kairiojo vamzdžio išteka 1 l, iš dešiniojo – 0,5 l vandens. Darome išvadą: kairiuoju vamzdžiu teka du kartus stipresnė vandens srovė.



5.1 pav.

### Fizikinė srovės stiprio prasmė

Panašiai galima apibūdinti ir elektringųjų dalelių kryptingo judėjimo laidininku intensyvumą, t. y. srovės stiprį. Kiekviena judri elektringoji dalelė, judėdama grandine, kartu perneša elektros krūvį. Kuo daugiau dalelių kryptingai juda tarp šaltinio polių, tuo didesnę bendrą elektros krū-

vį jos perneša. **Srovės stipris rodo, kokio dydžio elektros krūvis pernešamas laidininko skerspjuviu per 1 s.** Kuo daugiau elektronų pereina metalinio laidininko skerspjuviu per 1 s, tuo stipresnė elektros srovė.

Elektros srovės stiprį pažymėję raide  $I$ , laidininko skerspjuviu pratekėjusį elektros krūvį –  $Q$ , jo tekėjimo laiką –  $t$ , gausime:

$$\text{srovės stipris} = \frac{\text{elektros krūvis}}{\text{laikas}},$$

arba

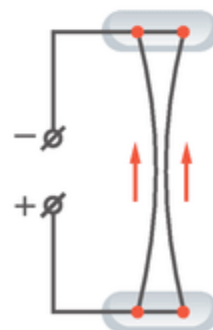
$$I = \frac{Q}{t}.$$

**Elektros srovės stipris lygus elektros krūvio  $Q$  ir laiko  $t$ , per kurį tas krūvis pereina laidininko skerspjuviu, santykiui.**

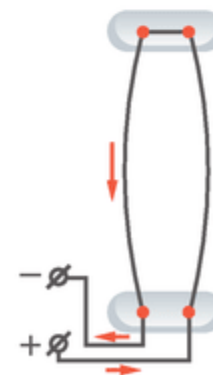
### Srovės stiprio matavimo vienetas

1948 m. Generalinėje svarsčių ir matų konferencijoje nutarta srovės stiprio vienetą nustatyti remiantis dviejų laidininkų, kuriais teka srovė, magnetine sąveika. Šią sąveiką pailiustruosime bandymu.

**Bandymas.** Du lanksčius, tiesius ir lygiagrečius laidininkus (tinka metalinės folijos juostelės) trumpam prijunkime prie elektros srovės šaltinio. Kai srovė laidininkais teka viena kryptimi (5.2 pav., *a*), jie vienas kitą traukia, kai priešingomis kryptimis (5.2 pav., *b*), – stumia.



5.2 pav., *a*



5.2 pav., *b*



Pagal laidininkų sąveikos jėgos didumą galima spręsti apie jais tekančios srovės stiprį.

Įsivaizduokime, kad du be galo ilgi labai ploni lygiagretūs laidai yra vakuume. Atstumas tarp jų lygus 1 m. Laidais teka vienodo stiprio srovė. **Srovės stiprio vienetu laikoma tokio stiprio**



**srovė, kuriai tekant šitokiais laidais vieno laido kiekvienas metras veikia kito laido kiekvieną metrą  $2 \cdot 10^{-7}$  N (0,0000002 N) jėga.** Šis vienetas vadinamas *amperu* ir žymimas A:

$$[I] = 1 \text{ A}.$$

Tai vienas iš septynių pagrindinių tarptautinės sistemos (SI) vienetų. Vartojami taip pat daliniai ir kartotiniai srovės stiprio vienetai: *mikroampèras* ( $\mu\text{A}$ ), *miliampèras* (mA), *kiloampèras* (kA).

$$1 \mu\text{A} = 0,000001 \text{ A} = 10^{-6} \text{ A};$$

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A} = 10^{-3} \text{ A};$$

$$1 \text{ kA} = 1000 \text{ A} = 10^3 \text{ A}.$$

Srovės stiprio matavimo vienetas pavadintas prancūzų mokslininko André Mari Ampèro (*Ampere*, 1775–1836) garbei. Jis pirmasis pavartojo elektros srovės sąvoką.

**André Mari Ampèras** (*Ampere*, 1775–1836) – įžymus prancūzų fizikas ir matematikas. Sukūrė pirmąją elektrinių ir magnetinių reiškinių ryšio teoriją, magnetizmo teoriją, pagrįstą molekulinės srovių hipoteze, pirmasis pavartojo elektros srovės sąvoką, atrado mechaninę elektros srovių sąveiką.

## Elektros krūvio matavimo vienetas

Žinant srovės stiprio matavimo vienetą, nesunku nustatyti elektros krūvio vienetą. Pagerbiant prancūzų fiziką Šarlį Ogiusteną Kuloną (*Coulomb*, 1736–1806), elektros krūvio vienetas buvo pavadintas *kulonų*. Sutrumpintai jis žymimas raide C.

Iš formulės  $I = \frac{Q}{t}$  išreiškę krūvį  $Q$ , gauname:

$$Q = It,$$

todėl

$$[Q] = [I] \cdot [t] = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ C}.$$

Kulonas lygus elektros krūviui, kurį laidininko skerspjūviu per 1 s perneša 1 A stiprio srovė.

Neigiamąjį elektrono krūvį įprasta žymėti raide  $e$ ;  $e \approx -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Tai labai mažas krūvis. Tekant laidininku 1 A stiprio srovei, jo skerspjūviu per 1 s pereina  $6,25 \cdot 10^{18}$  elektronų. Šitaip

suskaičiuoti elektronus ir sužinoti srovės stiprį praktiškai neįmanoma, todėl jį paprasčiau nustatyti pagal srovės poveikį: magnetinį, šiluminį, cheminį.

**Uždavinys.** Koks elektros krūvis prateka arbatinio kaitinamuoju elementu per 2,5 min, kai srovės stipris lygus 5 A?

$$t = 2,5 \text{ min} = 150 \text{ s}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

$$Q = ?$$

### Sprendimas

Arbatinio kaitinamuoju elementu prateka elektros krūvis  $Q = It$ .

Įrašome dydžių vertes ir apskaičiuojame:

$$Q = 5 \text{ A} \cdot 150 \text{ s} = 750 \text{ C}.$$

**Atsakymas.**  $Q = 750 \text{ C}$ .



### Tai įdomu

✳ Srovės stiprio matavimo vienetą amperą dar galima nusakyti ir taip:

- amperas – tai elektros srovės, kuri laidininko skerspjūviu per 1 s perneša 1 C krūvį, stipris;
- amperas – tai tokio stiprio elektros srovė, kuriai tekant sidabro nitrato tirpalu per 1 s ant elektrodo išsiskiria 1,118 mg sidabro;
- amperas – tai tokio stiprio elektros srovė, kuri laidininko skerspjūviu per 1 s perneša  $6,25 \cdot 10^{18}$  elektronų.

✳ Norėdami geriau suvokti, kokios daugybės elektronų krūvis tolygus 1 C krūviui, įsivaizduokime, kad turime

tobulą kompiuterį, kuris per sekundę gali suskaičiuoti 1000 elektronų. Be perstojo dirbdamas šis kompiuteris  $6,25 \cdot 10^{18}$  elektronų suskai-

čiuotų tik per 200 milijonų metų.

✳ Kai kuriais prietaisais tekančios elektros srovės stiprio vertės:

Kišeninio žibintuvėlio lempučių	0,25 A
100 W lempučių	0,45 A
Televizoriumi	1 A
Lygintuvu	2–5 A
Skalbykle	3 A
Greitai užverdančiu arbatiniu	10 A
Automobilio paleidikliu (starteriu)	300 A
Elektros generatoriumi	20 000 A
Palyginimui – žaibo kanalu	300 000 A

### Užduotys

1. Ką rodo elektros srovės stipris?

2. Išreikškite srovės stiprio matavimo vienetais, nurodytais laužtiniuose skliaustuose:

- a) 0,45 A [mA];      b) 150 000  $\mu$ A [A];  
c) 10 A [kA];      d) 750 mA [A].

3. Persibraižykite lentelę (žr. apačioje) savo sąsiuvinyje ir, remdamiesi srovės stiprio formule, apskaičiuokite trūkstamas dydžių vertes.

Eil. nr.	Srovės stipris I		Elektros krūvis Q	Laikas t
	A	mA		
1.	1		1 C	
2.	3			8 s
3.			5 C	10 s
4.			60 C	0,5 min
5.		1500		15 s
6.		4	6 C	

4. Pagal 3 užduoties lentelės 2 eilutės duomenis sukurkite konkretaus uždavinio sąlygą.

5. Į elektros tinklą įjungtu dulkių siurbliu per 10 min pratekėjo 1200 C elektros krūvis. Kokio stiprio elektros srovė tekėjo šiuo siurbliu?

6. Vieną kartą laidininko skerspjūviu elektros krūvis Q prateka per 1 s, kitą kartą krūvis 10Q – per 1 min. Palyginkite abiem atvejais laidininku tekančios srovės stiprį.

7. Viena lempučių 450 C elektros krūvis prateka per 5 min, kita – 15 C per 10 s. Kuria lempučių teka stipresnė elektros srovė?

8. Elektriniu lituokliu teka 500 mA stiprio elektros srovė. Per kiek laiko šiuo lituokliu pratekės 100 C elektros krūvis?

9. Kišeninio žibintuvėlio lempučių teka 0,25 A stiprio elektros srovė.  
a) Koks elektros krūvis prateka šia lempučių per 2 min?  
b)\* Kiek elektronų per šį laiką pereina lempučių siūlelio skerspjūviu?



### 3-iasis laboratorinis darbas

#### Elektros srovės stiprio matavimas įvairiose grandinės dalyse

## Ampermetras



5.3 pav., a



5.3 pav., b

Elektros srovės stipris grandinėje matuojamas specialiais prietaisais, kurie vadinami **ampermètrais** (5.3 pav.). Jų skalėje, sugraduotoje amperais, rašoma raidė A. Prisiminkite, kad elektrinėse schemose ampermetras žymimas su tartiniu ženklu  $\text{---}(\text{A})\text{---}$  (žr. lentelę p. 74).

Į elektrinę grandinę ampermetras jungiamas dviem gnybtais. Vienas jų pažymėtas pliuso (+) ženklu, kitas – minuso (–) ženklu (minuso ženklo kartais nebūna). Gnybtas su pliuso ženklu jungiamas su laidu, einančiu iš srovės šaltinio teigiamojo poliaus, o gnybtas su minuso ženklu – iš neigiamojo poliaus (5.4 pav.).

**Ampermetras į elektrinę grandinę jungiamas nuosekliai su kitais prietaisais** (ta pati srovė teka iš eilės visomis grandinės dali-

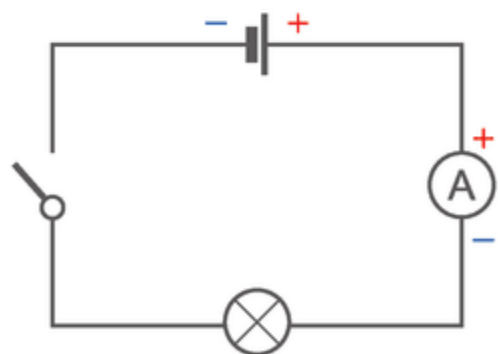
mis). Jis beveik nekeičia elektros srovės stiprio grandinėje (nes jo varža labai maža) ir rodo, kad *visose jos dalyse srovės stipris yra vienodas*.

*Pastaba.* Kad nesugadintumėte ampermetro, nejunkite jo prie srovės šaltinio gnybtų be kurio nors srovės imtuvo, nuosekliai sujungto su ampermetru.

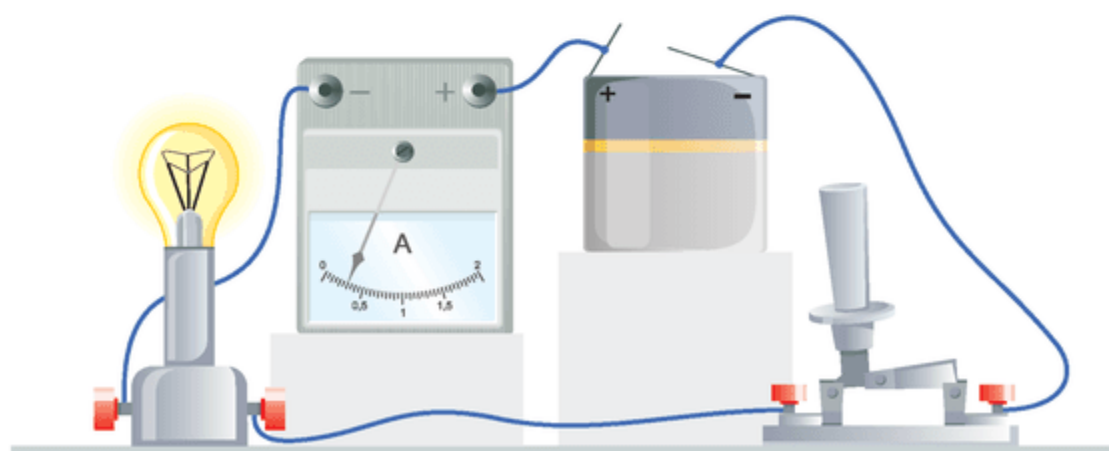
*Priemonės:* 1) kišeninio žibintuvėlio baterija; 2) laboratorinis ampermetras; 3) žemos įtampos lemputė su stoveliu; 4) jungiklis; 5) jungiamieji laidai.

#### Darbo eiga

**1.** Sujunkite 5.5 paveiksle pavaizduotą elektrinę grandinę. Užsirašykite ampermetro rodmenį su galima absoliučiąja paklaida.



5.4 pav.



5.5 pav.

2. Išjunkite jungiklį ir nubraižykite grandinės schemą.

3. Ampermetrą įjunkite kitoje šios grandinės vietoje: iš pradžių – tarp srovės šaltinio ir jungiklio, paskui – tarp jungiklio ir lemputės. Kaskart

užsirašykite ampermetro rodmenį ir nubraižykite atitinkamos grandinės schemą.

4. Palyginkite visus tris užsirašytus ampermetro rodmenis, padarykite išvadą.

### Užduotys

1. Kokia yra 5.3 paveiksle pavaizduotų ampermetrų skalės padalos vertė? Kokio dydžio absoliučioji paklaida daroma matuojant šiais ampermetrais?

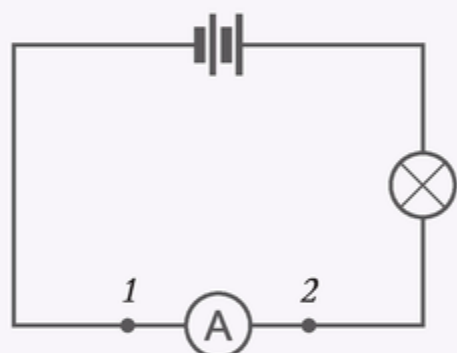
2. 5.6 paveiksle pavaizduotoje elektrinėje schemoje ampermetro gnybtai pažymėti skaičiais 1 ir 2. Nurodykite ampermetro gnybtų ženklus (+ arba –).

3. Kokio stiprio srovė teka lemputėmis  $L_1$  ir  $L_2$  (5.7 pav.)? Kokio dydžio elektros krūvis pratekės kiekviena lemputė per 0,5 min? Nurodykite elektros srovės kryptį.

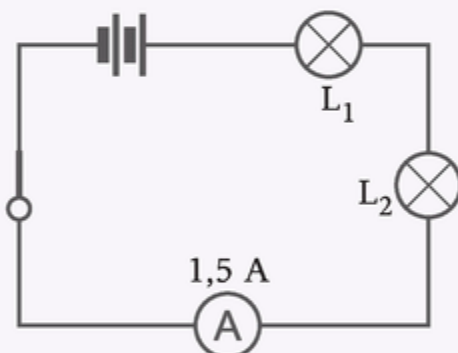
4. Sujungus grandinę pagal 5.8 paveiksle parodytą schemą ir įjungus jungiklį, ampermetras  $A_1$  rodo 0,03 A. Koks tuo metu yra ampermetro  $A_2$  rodmuo?

5. Kokio stiprio elektros srovė teka ampermetru (5.9 pav.)? Ar pasikeis ampermetro rodmuo, jei lemputę ir ampermetrą sukeisime vietomis?

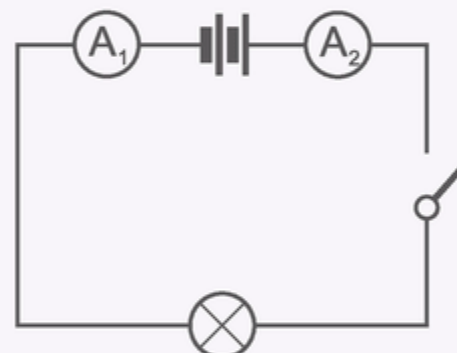
6. Vienas ampermetro gnybtas prijungtas prie elektrinės grandinės taško A (5.10 pav.). Kur reikia įjungti jo gnybtą B ir lemputę, kad ampermetras nesugestų ir rodytų srovės stiprį grandinėje?



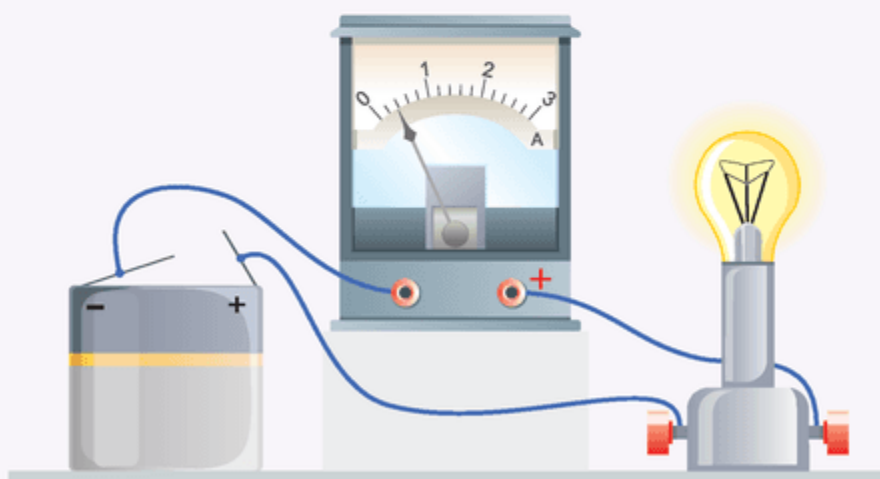
5.6 pav.



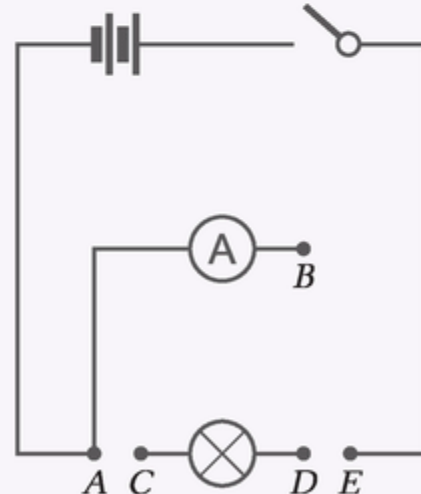
5.7 pav.



5.8 pav.



5.9 pav.



5.10 pav.



## 5.2. Elektrinė įtampa

### Fizikinė įtampos prasmė

Žodį „įtampa“ esame ne kartą girdėję ir var-toję: „Lemputė silpnai šviečia, matyt, per žema įtampa.“ Perkame vienokiai ar kitokiai įtampai pritaikytas lemputes. Ir vis dėlto nepakankamai gerai suvokiame šio dažnai vartojamo termino reikšmę. Taigi kas yra įtampa?

Žodžio „įtampa“ prasmę puikiai paaiškina toks pavyzdys. Norėdami iš lanko paleisti strėlę (su-teikti jai energijos), turime įtempti lanką. Kad grandine galėtų tekėti elektros srovė, tarp sro-vės šaltinio polių turi būti elektrinis laukas. O jį kiekybiškai apibūdina fizikinis dydis, vadinamas **elektrinė įtampa** ir žymimas raide  $U$ . Elek-trinis laukas susidaro srovės šaltinyje, perskyrus skirtingų ženklų krūvininkus. Tam panaudojama mechaninė, cheminė arba vidinė energija. Šal-tinis dėl to įgyja energijos ir gali atlikti darbą. **Elektrinė įtampa apibūdina darbą, kurį atlieka (arba gali atlikti) elektrinio lau-ko jėgos, grandine pratekant 1 C elektros krūviui.**



Žinodami grandine pratekėjusią elektros krūvį  $Q$  ir elektrinio lauko jėgų atliktą darbą  $A$ , galime apskaičiuoti įtampą  $U$ :

$$\text{įtampa} = \frac{\text{darbas}}{\text{elektros krūvis}},$$

arba

$$U = \frac{A}{Q}.$$

Taigi **įtampa lygi elektros srovės darbo ir grandine pratekėjusio elektros krūvio san-tykiui.**

Iš šios lygybės išplaukia, kad

$$A = UQ \quad \text{ir} \quad Q = \frac{A}{U}.$$

### Įtampos matavimo vienetas

Remdamiesi formule  $U = \frac{A}{Q}$ , galime sužinoti įtampos matavimo vienetą:

$$[U] = \frac{[A]}{[Q]} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}} = 1 \text{ J/C}.$$

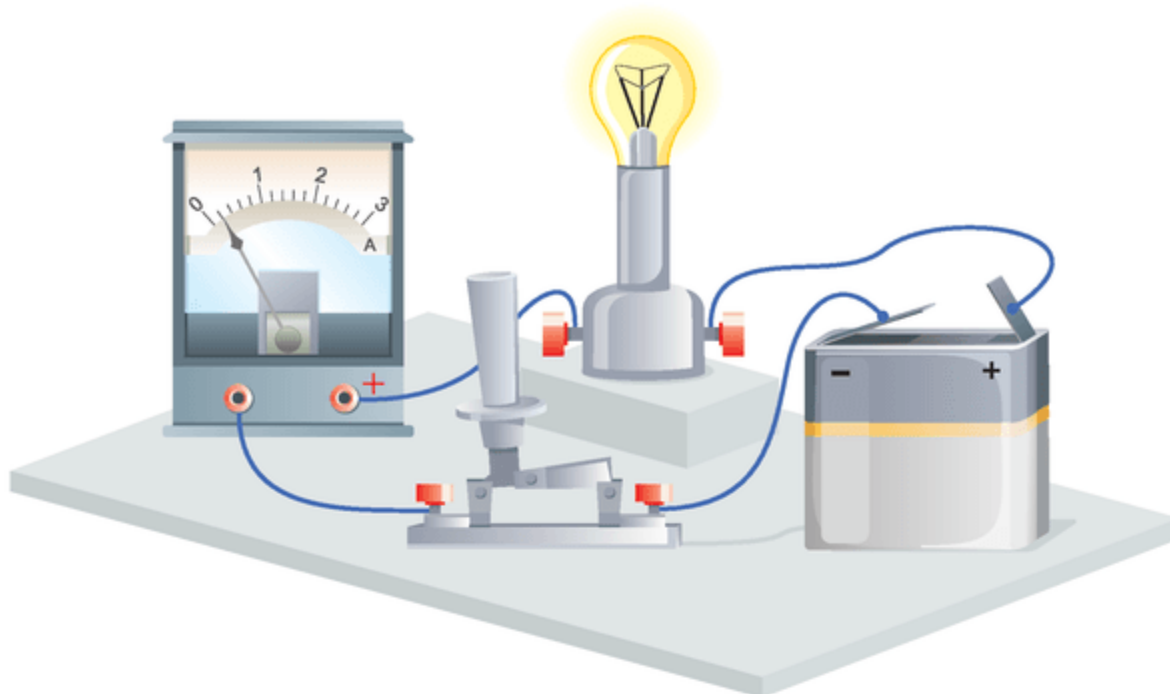
Pagerbiant italų mokslininką Alesandrą Voltą (*Volta*, 1745–1827), įtampos matavimo vienetas 1 J/C buvo pavadintas *vòltu*. Voltas sutrumpintai žymimas raide V. Taigi

$$[U] = 1 \text{ J/C} = 1 \text{ V}.$$

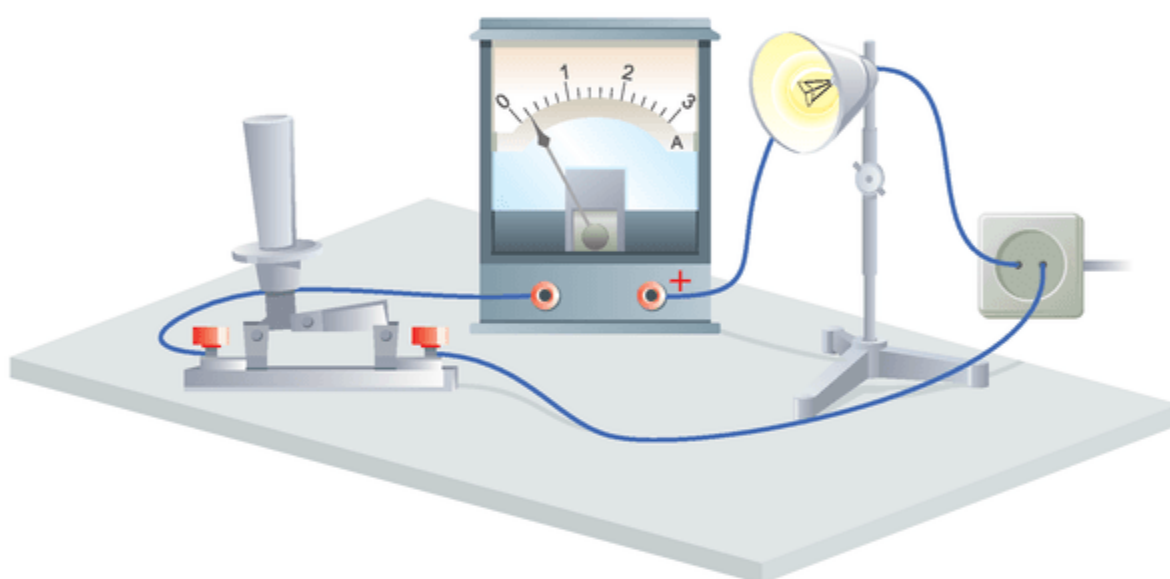
Iš lygybės  $U = \frac{A}{Q}$  matyti, kad voltas yra to-kia elektrinė įtampa tarp laidininko galų, kai juo pratekėdamas 1 C krūvis atlieka 1 J darbą. Vol-tą būtų galima apibūdinti ir kitaip: 1 V įtampos šaltinis suteikia 1 C krūvį turinčiai dalelei 1 J

**Alesandras Volta** (*Volta*, 1745–1827) – italų fi-zikas ir fiziologas, vienas iš elektros srovės teorijos kūrėjų, pirmasis išradęs galvaninį elementą (vėliau pavadintą Voltos stulpu), atradęs ir ištyręs degiąsias dujas – metaną.





5.11 pav., a



5.11 pav., b

energijos. Buityje mums įprasto tinklo įtampa yra 220 V.

Praktikoje vartojami daliniai ir kartotiniai volto vienetai: *milivòltas* (mV), *kilovòltas* (kV) ir kt.

$$1 \text{ mV} = 0,001 \text{ V} = 10^{-3} \text{ V};$$

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V} = 10^3 \text{ V}.$$

Elektros srovės darbo formulė  $A = UQ$  rodo: kuo didesnis krūvis teka grandine, tuo didesnis darbas atliekamas. Jei palygintume krūvius, pratekančius įvairiomis grandinėmis per vienetinį laiką, t. y. srovės stiprius, įsitikintume: kuo stipresnė srovė teka grandine, tuo didesnis jos poveikis. Iš šios formulės taip pat matyti, kad elektros srovės darbas priklauso ir nuo šaltinio įtampos – kuo ji aukštesnė (didesnė), tuo didesnę darbą atlieka elektros srovė.

**1 bandymas.** Sujunkime grandinę, susidedančią iš kišeninio žibintuvėlio baterijos, lemputės, ampermetro ir jungiklio. Lemputė ryškiai šviečia (5.11 pav., a).

**2 bandymas.** Panašią grandinę sudarykime iš apšvietimo lempos, ampermetro, jungiklio ir šaltinio, kuris šiuo atveju bus apšvietimo tinklas (5.11 pav., b). Į šią grandinę įjungta lempa skleidžia daugiau šviesos ir šilumos negu pirmame bandyme panaudota lemputė, nors abiem grandinėmis teka tokio pat stiprio srovė (tai rodo abu ampermetrai). Darome išvadą, kad elektros srovės darbas, kai srovės stipris vienodas, priklauso nuo šaltinio įtampos.

Kai grandinėje įtampa aukšta, kiekvienas elektronas turi palyginti daug energijos darbui atlikti, o kai žema, gali atlikti nedaug darbo.

Aukšta įtampa pavojinga gyvybei. Ji gali labai sužaloti ar net užmušti žmogų. Apie tai įspėja ir specialūs ženklai, kuriuos tikriausiai teko matyti pritvirtintus prie elektros skydinių. Gyvybei pavojinga aukštesnė kaip 42 V įtampa. Drėgnose patalpose įtampa nepavojinga tik iki 12 V, sausose – iki 36 V.



## Tai įdomu

\* Elektros srovę galima palyginti su upių, kuriose yra krioklių, tekėjimu. Elektros krūvis čia atitiktų upės skerspjuviu pratekančio vandens

masę, įtampa – vandens lygių krioklio viršuje ir apačioje skirtumą.

\* Kai kurios praktikoje taikomos įtampos:

Volto elemento polių	1,1 V
Sausojo galvaninio elemento polių	1,5 V
Kišeninio žibintuvėlio baterijos	4,5 V
Šarminio akumuliatoriaus	1,25 V
Rūgštinio akumuliatoriaus	2 V
Automobilio akumuliatoriaus	12 V
Telefono	60 V
Apšvietimo tinklo	220 V
Automobilio (važiuojančio) žvakės	15 000 V
Lietuvės elektros perdavimo linijų žiedo	110 kV
Pabaltijo elektros perdavimo linijos	330 kV
Žaibo	> 100 000 kV

\* Upės vandens darbas priklauso nuo krintančio vandens masės ir kritimo aukščio, t. y. nuo potencialinės energijos  $E_p = mgh$ . Kuo didesnis lygių skirtumas ( $h$ ), tuo didesnę darbą atlieka krisdamas vanduo. Elektros srovės darbas priklauso nuo elektros krūvio, pratekančio laidininko skerspjuviu, ir nuo įtampos laidininke. Kuo didesnė įtampa tarp dviejų grandinės taškų, tuo didesnę darbą atlieka srovėje toje grandinės dalyje.

\* Ežeruose ir tvenkiniuose nėra vandens lygių skirtumo – vanduo niekur neteka. Elektrinėje grandinėje nėra įtampos – elektros srovė neteka.

\* Hidrodinaminė elektrinės grandinės analogija:

Elektros srovės šaltinis	Vandens siurblys
Krūvininkai perskiriami	Vanduo siurblyje slegiamas
Du poliai, kuriuose skirtingas elektronų kiekis	Siurblio įėjimo ir išėjimo angos, kuriose vandens slėgis skirtingas
Iš šaltinio neigiamojo poliaus elektronai išeina	Iš siurblio išėjimo angos vanduo išteka
Į šaltinio teigiamąjį polių elektronai ateina	Į siurblio įėjimo angą vanduo siurbiamas (įteka)
Tarp polių yra įtampa	Tarp siurblio angų susidaro slėgių skirtumas
Įtampa – sąlyga elektros srovei atsirasti	Slėgių skirtumas – sąlyga vandeniui tekėti

## Užduotys

1. Ką apibūdina elektrinė įtampa? Koks yra pagrindinis jos matavimo vienetas?
2. Kodėl ant elektros lempučių, lygintuvų ir kitų elektrinių prietaisų nurodoma įtampa?
3. Išreikškite įtampos matavimo vienetais, nurodytais laužtiniuose skliaustuose:
 

a) 10 V [J/C];	b) 50 mV [V];
c) 110 kV [V];	d) 1,5 V [mV].

4. Persibraižykite lentelę savo sąsiuvinyje ir apskaičiuokite trūkstamas jos dydžių vertes:

Eil. nr.	Elektros krūvis, C	Suvargota energija, J	Įtampa, V
1.	1	7	
2.	0,2		1,5
3.		440	220
4.	0,5	63,5	

5. Elektros lemputė numatyta 12 V įtampai. Kokį darbą atlieka elektros srovė, kai tos lemputės siūlo skerspjūviu prateka 5 C krūvis?
6. Dviem atskirais laidininkais pratekėjus vienodam elektros krūviui, viename buvo atlik-

tas 20 J, o kitame – 40 J darbas. Palyginkite laidininkų galų įtampą.

7. Grandinės dalimi tekant 10 C krūviui, elektrinis laukas atliko 45 J darbą. Kokia buvo tos grandinės dalies įtampa?
8. Dviejose grandinėse atliktas vienodas darbas. Viena iš jų pratekėjo 15 C elektros krūvis, kita – 45 C. Kurioje grandinėje įtampa buvo aukštesnė ir kiek kartų?
9. Šildymo prietaiso gnybtus prijungus prie 220 V įtampos šaltinio, prietaiso spirale teka 10 A srovė. Kaip ji pakis, kai prietaiso gnybtų įtampą sumažinsime?
10. Kai neizoliuotu elektros perdavimo linijos laidu teka elektros srovė, žmogui ją liesti pavojinga, o paukštis ramiausiai gali tupėti ant tokio laido. Kodėl?

## 4-asis laboratorinis darbas

### Elektrinės įtampos matavimas įvairiose grandinės dalyse

#### Voltmetras



5.12 pav., a

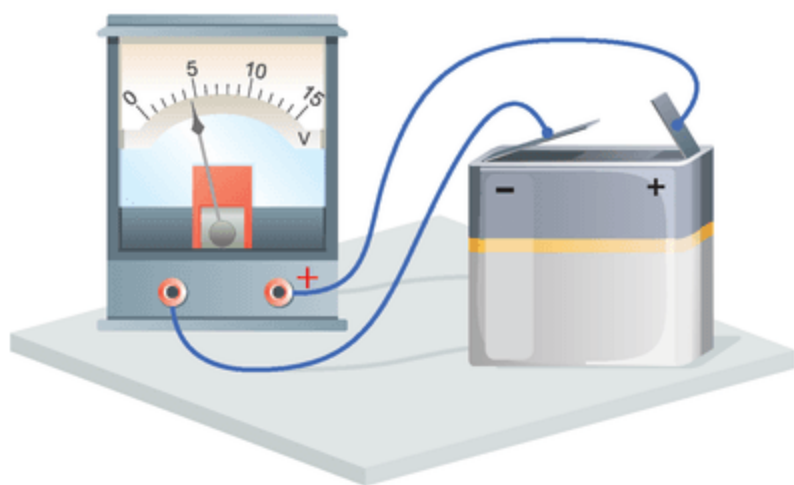


5.12 pav., b

Elektrinė įtampa grandinėje arba atskirose jos dalyse matuojama specialiais prietaisais – **voltmètrais**. Iš išorės jie labai panašūs į ampermetrus, tačiau jų skalėje parašyta raidė V (5.12 pav.). Elektrinėse schemose voltmetras žymimas sutartiniu ženklu  $\text{---}(\text{V})\text{---}$  (žr. lentelę p. 74).

**Voltmetras jungiamas į grandinę lygia-grečiai** – jo gnybtai prijungiami laidais prie tų grandinės taškų, tarp kurių reikia išmatuoti įtampą. Voltmetro gnybtas, pažymėtas pliuso ženklu, jungiamas su laidu, einančiu iš šaltinio teigiamojo poliaus, minuso ženklą turintis gnybtas –





5.13 pav.

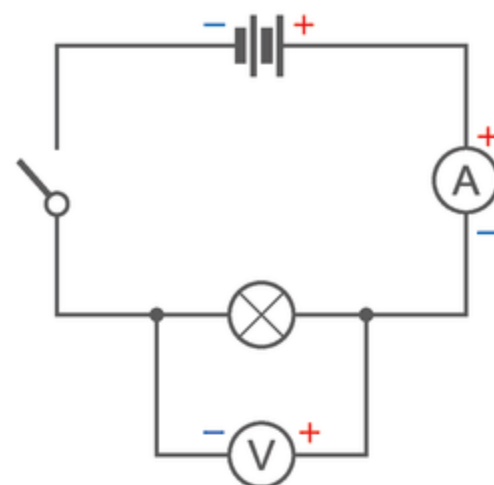
su laidu, einančiu iš šaltinio neigiamojo poliaus. Sujungus atvirkščiai, prietaiso rodyklė nukryps į priešingą pusę. Jei reikia išmatuoti srovės šaltinio įtampą, voltmetas tiesiai prijungiamas prie šaltinio gnybtų (5.13 pav.). (Ampermetro šitaip jungti negalima!) Voltmetro ir ampermetro jungimo į grandinę schema pateikta 5.14 paveiksle.

Kai grandinė atvira, prie šaltinio gnybtų prijungtas voltmetas išmatuoja įtampą tik tarp šaltinio polių (5.15 pav., *a*), kai uždara – išorinėje grandinėje (5.15 pav., *b*).

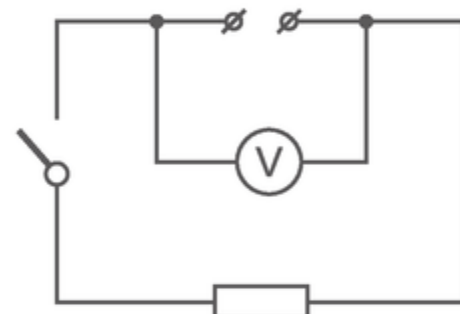
*Priemonės:* 1) kišeninio žibintuvėlio baterija; 2) laboratorinis voltmetas; 3) žemos įtampos lemputė su stoveliu; 4) dvi spiralės (laboratoriniams darbams); 5) jungiklis; 6) jungiamieji laidai.

### Darbo eiga

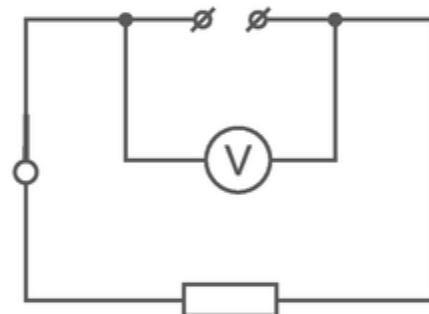
1. Iš kišeninio žibintuvėlio baterijos, lemputės, spiralių, jungiklio ir jungiamųjų laidų sudarykite elektrinę grandinę (5.16 pav., *a*).



5.14 pav.



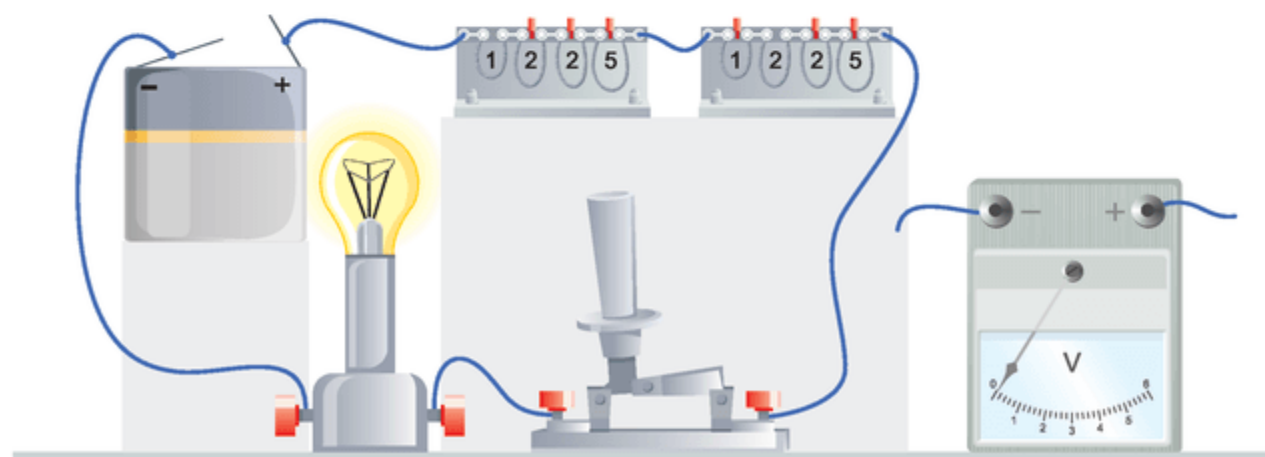
5.15 pav., *a*



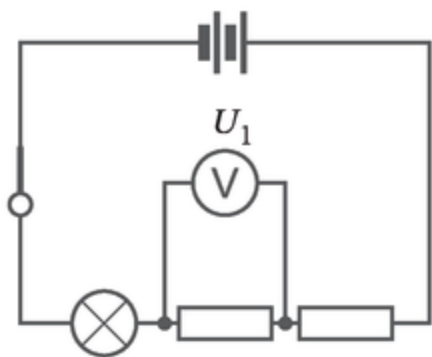
5.15 pav., *b*

2. Prijungdami voltmetrą taip, kaip parodyta 5.16 paveiksle, *b*, *c*, *d*, išmatuokite pirmos ir antros spiralės galų įtampą  $U_1$  ir  $U_2$ , taip pat bendrą abiejų spiralių (t. y. grandinės dalies) įtampą  $U$ . Šasiuvinyje nusibraižykite tokią lentelę ir joje surašykite matavimo duomenis:

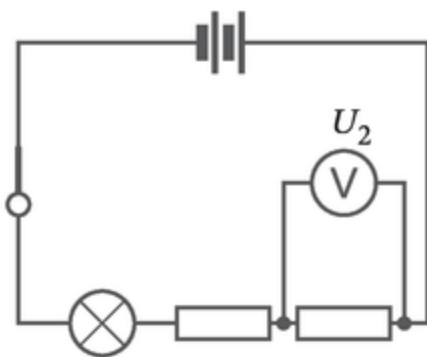
$U_1, V$	$U_2, V$	$U, V$	$U_1 + U_2, V$	$U_3, V$	$U_4, V$	$U_5, V$



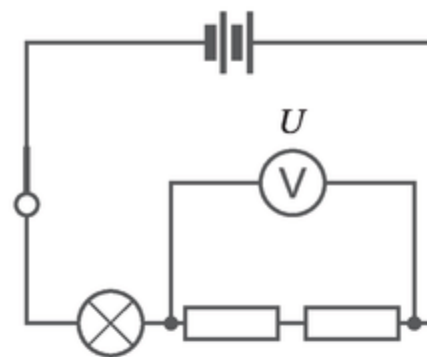
5.16 pav., *a*



5.16 pav., b



5.16 pav., c



5.16 pav., d

3. Apskaičiuokite įtampų sumą  $U_1 + U_2$ , palyginkite ją su grandinės dalies įtampa  $U$  ir padarykite išvadą.

4. Išmatuokite šaltinio gnybtų įtampą  $U_3$  ir įjungto bei išjungto jungiklio įtampą  $U_4, U_5$ .

*Pastaba.* Voltmetru patogų matuoti grandinės dalių įtampą, neišardant grandinės. Dėl to pakanka prie voltmetro gnybtų prijungti po laidą ir kitais jų galais paliesti tuos grandinės taškus, tarp kurių norima išmatuoti įtampą.

### Užduotys

1. 5.17 paveiksle pavaizduotos voltmetrų skalės, kurių matavimo ribos yra nuo 0 iki 4 V ir nuo 0 iki 250 V. Kokia kiekvieno prietaiso skalės padalos vertė? Kokią įtampą rodo voltmetrai? Kiekvieno jų rodmenį užrašykite su absoliučiąja matavimo paklaida.

2. Atliekant laboratorinius darbus, geriausia iš pradžių sujungti grandinę, įsitikinti, kad joje yra srovė, ir tik tada lygiagrečiai jungti voltmetrą. Nubraižykite elektrinės grandinės, sudarytos iš srovės šaltinio, lemputės, jungiklio, ampermetro, voltmetro ir jungiamųjų laidų, dvi schemas. Pirmoje pavaizduokite

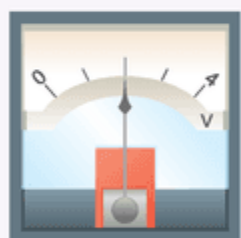
sujungtus prietaisus be voltmetro, antroje – su voltmetru.

3. Nurodykite, kurių prietaisų gnybtų įtampą matuoja voltmetras (5.18 pav.).

4. Kuris iš 5.19 paveiksle pavaizduotų matavimo prietaisų (jie pažymėti skrituliukais su klausuku) yra voltmetras, kuris – ampermetras?

5. Sujungus grandinę pagal 5.20 paveiksle pateiktą schemą, lemputė nešviečia. Kas šioje grandinėje negerai?

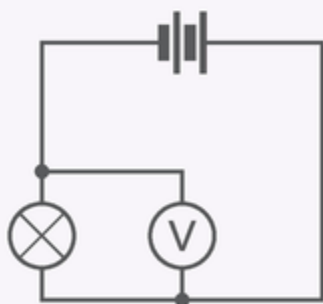
6. Kambaryje perdegė elektros lemputė. Ar, norint ją pakeisti, būtina išjungti grandinę?



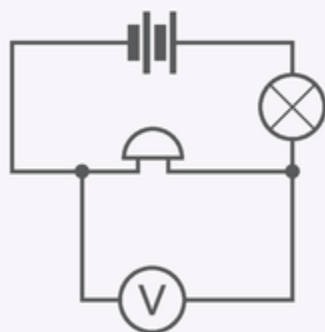
5.17 pav.



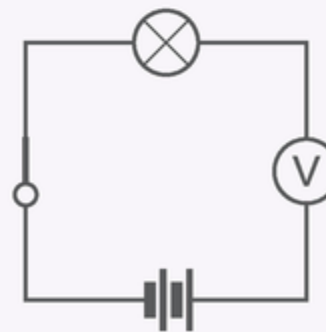
5.19 pav.



5.18 pav., a



5.18 pav., b



5.20 pav.



## 5.3. Laidininko elektrinė varža

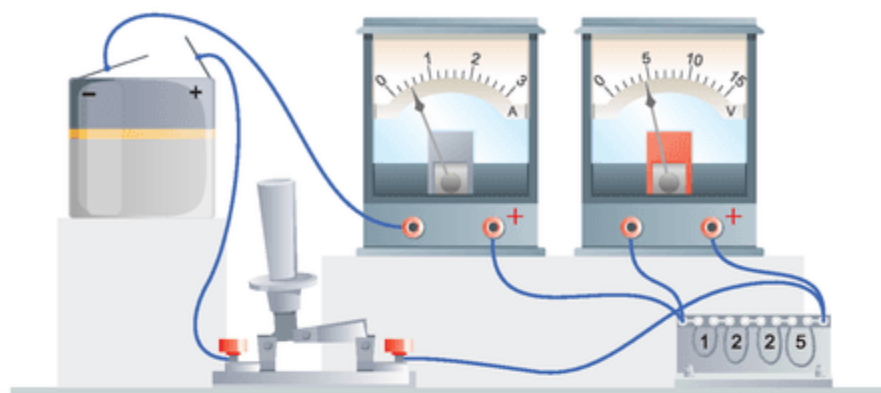
### Elektrinė įtampa ir srovės stipris susiję

Mokame matuoti įtampą ir srovės stiprį elektrinėje grandinėje. Dabar galime išsiaiškinti, kaip susiję šie du fizikiniai dydžiai. Kodėl įvairiais laidininkais, nekeičiant įtampos (srovės šaltinio), teka nevienodo stiprio srovė? Nuo ko ji priklauso?

**Bandydas.** Sujunkime elektrinę grandinę iš srovės šaltinio (kišeninio žibintuvėlio baterijos), spiralės, ampermetro, voltmetro ir jungiklio (5.21 pav.). Išmatuokime srovės stiprį grandinėje ir spiralės gnybtų įtampą. Prie kišeninio žibintuvėlio baterijos prijunkime antrą tokią pat bateriją, paskui ir trečią. Vėl išmatuokime tuos pačius fizikinius dydžius. Kiekvieną kartą išmatuotą įtampą padalykime iš atitinkamo srovės stiprio. Matavimo ir skaičiavimo rezultatus surašykime lentelėje:

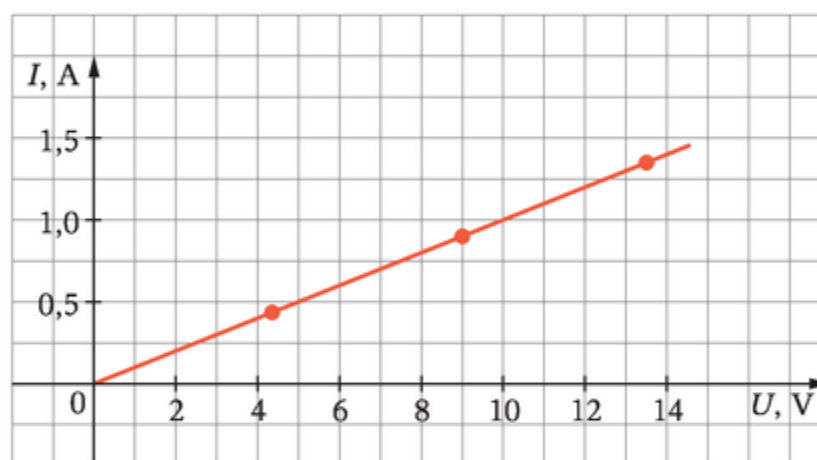
Eil. nr.	Įtampa $U$ , V	Srovės stipris $I$ , A	Santykis $\frac{U}{I}$
1.	4,5	0,45	10
2.	9	0,9	10
3.	13,5	1,35	10

Matome, kad įtampos ir laidininku tekančios srovės stiprio santykis yra toks pat. Tai rodo,



5.21 pav.

kad šie dydžiai yra tiesiogiai proporcingi: **kiek kartų padidėja laidininko įtampa, tiek pat kartų sustiprėja juo tekanti srovė**. Pasirinkę tinkamą mastelį, nustatytą srovės stiprio priklausomybę nuo įtampos galime pavaizduoti grafiškai (5.22 pav.).



5.22 pav.

### Elektrinės varžos sąvoka ir matavimo vienetas

Jeigu bandymą pakartotume pakeitę spiralę kita, srovės stipris ir vėl būtų tiesiogiai proporcingas įtampai, tačiau jų santykis būtų kitoks. Vadinasi, santykis  $\frac{U}{I}$  apibūdina laidininką. Jis vadinamas laidininko **elektrinė varža**. Elektrinė varža žymima raide  $R$  (iš angl. *resistor*, o šis iš lot. *resisto* – priešinuosi). Taigi

$$R = \frac{U}{I}.$$

Pagal šią formulę galima apibrėžti elektrinės varžos matavimo vienetą. Jis vadinamas *omū*, pa-

gerbiant vokiečių fiziką Georgą Simoną Omą, ir žymimas graikiška raide  $\Omega$  (tariama: „omega“):

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 1 \Omega.$$

1  $\Omega$  lygus varžai tokio laidininko, kuriuo teka 1 A stiprio srovė, kai įtampa tarp laidininko galų lygi 1 V. Vartojami ir daliniai bei kartotiniai elektrinės varžos vienetai, pavyzdžiui, *miliòmas* (m $\Omega$ ), *kiloòmas* (k $\Omega$ ), *megaòmas* (M $\Omega$ ):

$$1 \text{ m}\Omega = 0,001 \Omega = 10^{-3} \Omega;$$

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega = 10^3 \Omega;$$


$$1 \text{ M}\Omega = 1\,000\,000 \Omega = 10^6 \Omega.$$

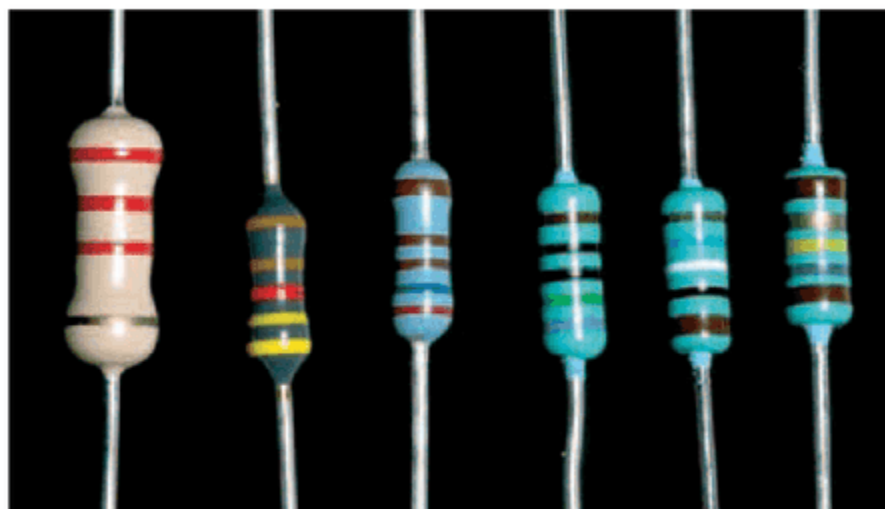


## Kodėl laidininkas turi varžą?

Varžą turi kiekvienas elektros laidininkas. Kodėl? Metalinį laidininką prijungus prie srovės šaltinio, metalo laisvieji elektronai ima judėti kryptingai, tačiau jiems trukdo teigiamieji kristalų jonai, mat jie elektronus traukia. Kiekvienas laidininkas tarsi priešinasi elektros srovei. Šią jo savybę ir nusako elektrinė varža. Skirtingų metalų ji yra nevienoda, nes skiriasi metalų kristalinės gardelės ir jėgos, kuriomis tų gardelių teigiamieji jonai traukia elektronus. Kuo labiau jie trikdo elektronų judėjimą, tuo didesnė laidininko varža. Jei pradėjusių kryptingai judėti elektronų niekas netrikdytų, jie iš inercijos judėtų labai ilgai.

Elektrinėse grandinėse, kai norima padidinti jų varžą, naudojami specialūs prietaisai (5.23 pav.),

vadinami **varžais** (rezistoriais). Jie gali būti įvairios varžos. Varžos didumas žymimas ant varžo korpuso spalvotais dryžiais, kurie yra tarsi varžos kodas. Schemose varžai žymimi ženklu  (žr. lentelę p. 74).



5.23 pav.

## Laidininko varžos matavimas

Laidininko varžą galima apskaičiuoti pagal formulę  $R = \frac{U}{I}$ , išmatavus įtampą tarp laidininko galų ir srovės stiprį. Tačiau prieš tai reikia sudaryti elektrinę grandinę, turėti ampermetrą ir voltmetrą. Tai nėra labai patogu. Daug paprasčiau varžą matuoti specialiu prietaisu – **ommetrū** (5.24 pav.), kuris iš karto parodo laidininko varžą.



5.24 pav.



**Georgas Simonas Omas (Ohm, 1787–1854)** – vokiečių fizikas. Mokytojaudamas Kelno gimnazijoje, jis net 10 metų kruopščiai eksperimentavo, kol nustatė dėsnį, dabar vadinamą Omo dėsniu. Bandydamas jis atliko sunkiomis sąlygomis, pats kūrė srovės šaltinius ir matavimo prietaisus. Vėliau šį dėsnį Omas suformulavo teoriškai.

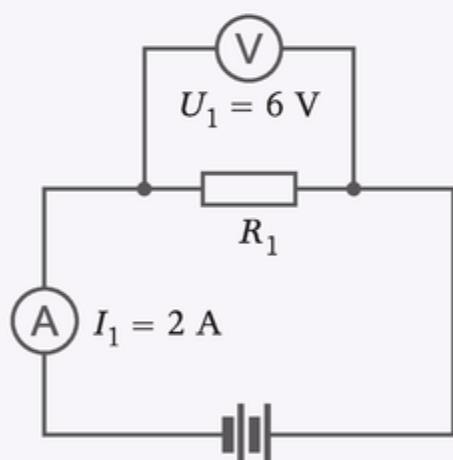


## Užduotys

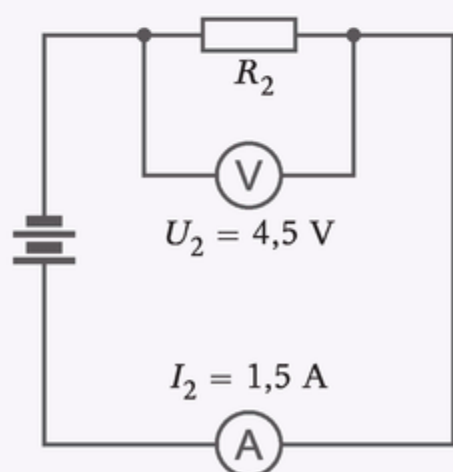
1. Ką reikia įrašyti vietoj daugtaškio:  
a)  $5 \Omega = \dots \text{ V/A}$ ;  
b)  $0,003 \text{ M}\Omega = \dots \Omega$ ;  
c)  $1,5 \text{ M}\Omega = \dots \text{ k}\Omega$ ;  
d)  $300 \Omega = \dots \text{ k}\Omega$ ?
2. Elektrinio arbatinio, įjungto į  $220 \text{ V}$  įtampos tinklą, spirale teka  $4 \text{ A}$  stiprio srovė. Apskaičiuokite spiralės varžą.
3. Dirbtuvei užsakyta pagaminti prietaisą, kuriuo būtų galima išmatuoti elektrinę įtampą iki  $0,1 \text{ V}$ . Kai prietaisu teka  $1 \text{ mA}$  srovė, rodyklė gali nukrypti per visą skalę. Kokia turi būti prietaiso varža?
4. Apskaičiuokite trūkstamas dydžių vertes:

Eil. nr.	Įtampa $U, \text{ V}$	Srovės stipris $I, \text{ A}$	Varža $R = \frac{U}{I}, \Omega$
1.	10	0,1	
2.	5		50
3.		0,2	1100

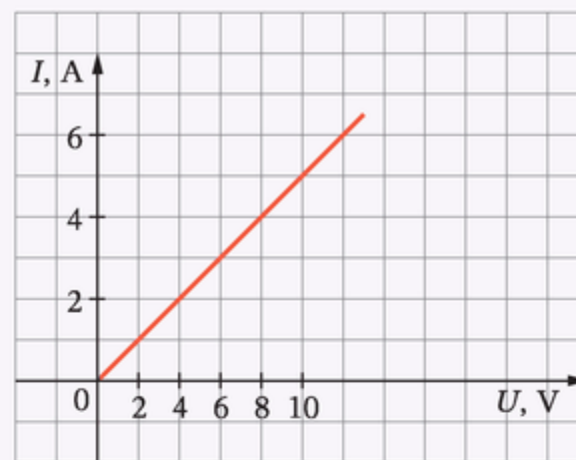
5. Apskaičiuokite varžas  $R_1$  ir  $R_2$  (5.25 pav.).



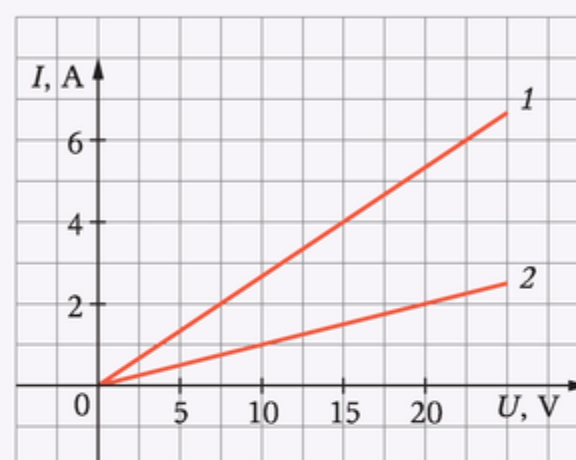
5.25 pav., a



5.25 pav., b



5.26 pav.



5.27 pav.

6. 5.26 paveiksle pateiktas srovės stiprio priklausomybės nuo įtampos grafikas.  
a) Kokio stiprio srovė teka laidininku, kai įtampa lygi  $2 \text{ V}$ ;  $4 \text{ V}$ ;  $7 \text{ V}$ ;  $10 \text{ V}$ ?  
b) Remdamiesi grafiku, apskaičiuokite laidininko varžą.
7. 5.27 paveiksle pavaizduoti du grafikai, kurie rodo, kaip laidininkais tekančios srovės stipris priklauso nuo įtampos. Kuris grafikas atitinka didesnės varžos laidininką?
8. Tirdamas laidininku tekančios srovės stiprį ir įtampą tarp laidininko galų, Karolis gavo tokius rezultatus:

Eil. nr.	Įtampa $U, \text{ V}$	Srovės stipris $I, \text{ A}$
1.	6	2
2.	9	3
3.	12	4

- a) Remdamiesi Karolio lentele, nubraižykite srovės stiprio priklausomybės nuo įtampos grafiką.
- b) Nustatykite, kokios varžos laidininką Karolis įjungė į grandinę.

## 5.4. Laidininko varžos apskaičiavimas

### Vielos elektrinėse grandinėse

Elektrinėse grandinėse dažnai tenka naudoti vielas. Laboratorijose prietaisai vieni su kitais jungiami laidais, elektros energija vartotojams tiekama orinėmis ir kabelinėmis (ol. *kabel* – ly-

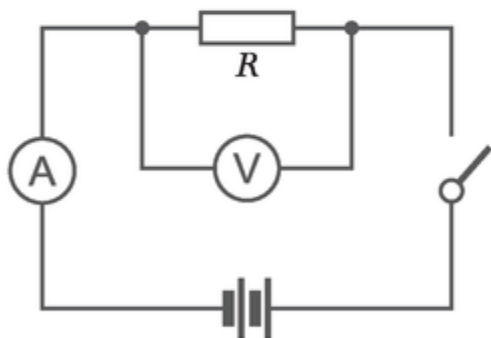
nas) linijomis ir t. t. Parenkant laidams ar kabeliams laidininkus (vijas), atsižvelgiama į keletą jų savybių (patvarumą, ekonomiškumą), bet pirmiausia – į elektrinę varžą.

### Nuo ko priklauso laidininko varža?

Norėdami ištirti, nuo ko priklauso laidininko varža, atlikime keletą bandymų. Į elektrinę grandinę jungkime įvairaus ilgio, skerspjūvio ir skirtingų medžiagų vietas, įtvirtintas stovelyje.

**1 bandymas.** Pagal 5.28 paveikslą pavaizduotą schemą sujunkime grandinę iš srovės šaltinio, ampermetro, voltmetro, jungiklio ir vienos iš stovelyje įtaisytų vielų (schemoje ji pažymėta raide  $R$ ). Ampermetru išmatavę srovės stiprį grandinėje, o voltmetru – įtampą tarp vielos galų, apskaičiuokime vielos varžą  $R$ . Paskui šią vielą pakeiskime kita tokios pat medžiagos ir skerspjūvio, tik perpus trumpesne vieta ir vėl pagal ampermetro ir voltmetro rodmenis apskaičiuokime jos varžą. Ilgesnės vielos varža yra dvigubai didesnė. Todėl galime tvirtinti, kad *vielos varža yra tiesiogiai proporcinga jos ilgiui*:

$$R \sim l.$$



5.28 pav.

**2 bandymas.** Pakartokime pirmą bandymą, jungdami paeiliui vienodo ilgio, bet skirtingo storio (skirtingo skerspjūvio) vietas. Vėl apskaičiuokime jų varžą. Įsitikinsime: kuo storesnė vieta, tuo mažesnė jos varža. Taigi *vielos varža*

*yra atvirkščiai proporcinga jos storiui (skerspjūvio plotui):*

$$R \sim \frac{1}{S}.$$

**3 bandymas.** Pirmą bandymą pakartokime dar kartą, tik dabar paeiliui jungkime dviejų skirtingų medžiagų, pavyzdžiui, nikelio ir nichromo, bet vienodų matmenų (ilgio ir storio) vietas. Apskaičiuokime jų varžą. Ji skirtinga, t. y. *priklauso nuo medžiagos, iš kurios pagaminta vieta*.

Apibendrinkime bandymų rezultatus: **laidininko elektrinė varža yra tiesiogiai proporcinga laidininko ilgiui, atvirkščiai proporcinga jo skerspjūvio plotui ir priklauso nuo laidininko medžiagos.**

### Medžiagos savitoji varža

Įvairių medžiagų varžoms palyginti paprastai imamos 1 m ilgio ir 1 mm<sup>2</sup> skerspjūvio ploto vielos. Jų varža vadinama medžiagos **savitąja elektrinė varža**.

Medžiagos savitąją elektrinę varžą pažymėję graikiška raide  $\rho$  (tariame: „ro“)<sup>1</sup>, laidininko ilgį –  $l$ , skerspjūvio plotą –  $S$ , laidininko elektrinę varžą  $R$  galime išreikšti formule

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Iš jos matyti, kad savitoji varža

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}.$$

<sup>1</sup>Prisiminkime, kad tokia pat raide esame pažymėję medžiagos tankį ( $\rho = \frac{m}{V}$ ). Tai skirtingi fizikiniai dydžiai, todėl jų nepainiokime sprendami uždavinius.



Remiantis šia lygybe, nesunku sužinoti savitosios varžos matavimo vienetą:

$$[\rho] = \frac{1 \, \Omega \cdot 1 \, \text{m}^2}{1 \, \text{m}} = 1 \, \Omega \cdot \text{m}.$$

Skaitome: „ $\rho$  matavimo vienetas yra *ommetras*.“

Praktikoje įvairių laidininkų (ypač vielų) skerspjūvio plotą patogiau reikšti kvadratiniais mili-

metrais, nes jis paprastai būna nedidelis, o ilgį – metrais. Todėl dažniau vartojamas toks savitosios varžos matavimo vienetas:

$$[\rho] = 1 \, \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}.$$

Skaitome: „ $\rho$  matavimo vienetas yra *òmas iš kvadratinio milimetro mètrui*.“

### Kai kurių medžiagų savitoji varža

(esant 20 °C temperatūrai)

Medžiaga	Savitoji varža, $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Medžiaga	Savitoji varža, $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Sidabras	0,016	Švinas	0,21
Varis	0,017	Nikelinas	0,40
Auksas	0,024	Konstantanas	0,50
Aliuminis	0,028	Nichromas	1,1
Volframas	0,055	Grafitas	13
Žalvaris	0,063	Porcelianas	$10^{19}$
Geležis	0,10	Ebonitas	$10^{20}$

Iš lentelės matyti, kad mažiausią savitąją varžą turi sidabras ir varis, o didžiausią – ebonitas ir porcelianas. Todėl sidabras ir varis yra geriausi elektros laidininkai, o ebonitas ir porcelianas, beveik nepraleidžiantys elektros srovės, dažnai naudojami kaip izoliatoriai.

**1 uždavinys.** Laidininko varža 10  $\Omega$ , ilgis 100 m, skerspjūvio plotas 1,0 mm<sup>2</sup>. Iš kokios medžiagos pagamintas laidininkas?

$$\begin{aligned} R &= 10 \, \Omega \\ l &= 100 \, \text{m} \\ S &= 1,0 \, \text{mm}^2 \\ \rho &= ? \end{aligned}$$

#### Sprendimas

Nagrinėjamo laidininko varža  $R = \rho \frac{l}{S}$ . Iš čia išreikškime savitąją varžą  $\rho$ . Abi lygybės puses padauginę iš  $\frac{S}{l}$ , gausime:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}; \quad \rho = \frac{10 \, \Omega \cdot 1,0 \, \text{mm}^2}{100 \, \text{m}} = 0,1 \, \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}.$$

Lentelėje tokią vertę atitinka geležis.

**Atsakymas.** Laidininkas pagamintas iš geležies.

**2 uždavinys.** Viela perlenkiama pusiau ir abi pusės suglaudžiamos. Perlenktos vielos varža 1  $\Omega$ . Kokia buvo pradinė vielos varža?

$$\begin{aligned} l_1 &= 2l_2 \\ S_2 &= 2S_1 \\ R_2 &= 1 \, \Omega \\ R_1 &= ? \end{aligned}$$

#### Sprendimas

Neperlenktos vielos varža  $R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1}$ , perlenktos  $R_2 = \rho \frac{l_2}{S_2}$ ; čia  $\rho$  – vielos savitoji varža (lenkiant vielą, ji nesikeičia).

Apskaičiuokime abiejų vielų varžų santykį:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho l_1}{S_1} : \frac{\rho l_2}{S_2} = \frac{\rho l_1}{S_1} \cdot \frac{S_2}{\rho l_2} = \frac{l_1 S_2}{l_2 S_1}.$$

Įrašome duotas dydžių vertes ir atliekame veiksmus:

$$\frac{R_1}{1 \, \Omega} = 2 \cdot 2; \quad R_1 = 4 \, \Omega.$$

**Atsakymas.**  $R_1 = 4 \, \Omega$ .

## Užduotys

1. Kaip priklauso laidininko varža nuo jo ilgio; skerspjūvio ploto?
2. Laidas perpjautas pusiau ir iš abiejų dalių susuktas vienas laidas. Kaip pakito jo varža?
3. Specialiomis staklėmis viela buvo taip ištempta, kad pasidarė dvigubai ilgesnė ir perpus plonesnė. Kaip dėl to pakito vielos varža?
4. Kiek kartų 1 m ilgio geležinės vielos varža didesnė už 1 m tokio pat skerspjūvio aliumininės vielos varžą?
5. 2 m ilgio ir  $0,5 \text{ mm}^2$  skerspjūvio ploto laidas pagamintas iš nikelino. Apskaičiuokite to laido elektrinę varžą?
6. Yra du vienodo ilgio ir tokios pat medžiagos laidai. Vieno laido skerspjūvio plotas  $0,2 \text{ cm}^2$ , kito –  $5 \text{ mm}^2$ . Kurio laido varža didesnė ir kiek kartų?
7. 45 m ilgio varinės vielos varža lygi  $1 \Omega$ . Koks yra šios vielos skerspjūvio plotas?
8. 1 m ilgio ir  $0,25 \text{ mm}^2$  skerspjūvio ploto vielos varža yra  $2 \Omega$ . Iš kokios medžiagos pagaminta viela?
- 9\*. Rite, susukta iš  $0,75 \text{ mm}^2$  skerspjūvio ploto nichrominės vielos, teka 20 mA stiprio elektros srovė. Įtampa tarp ritės galų 4,4 V. Koks yra vielos ilgis?

## 5.5. Reostatai

### Reostatų paskirtis

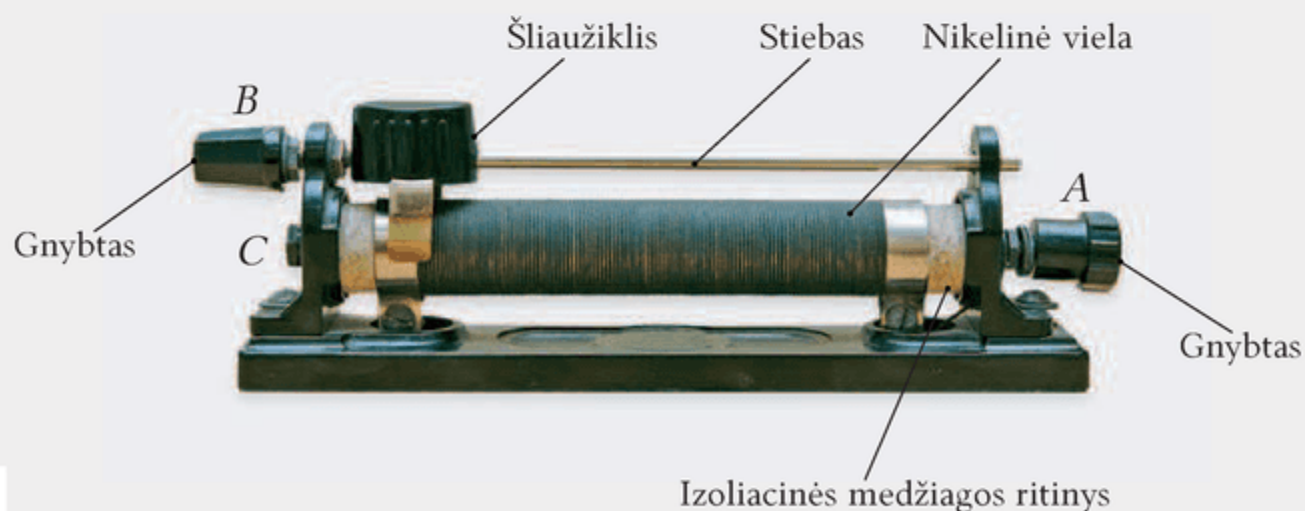
Elektrinėse grandinėse dažnai tenka reguliuoti (padidinti arba sumažinti) įtampą arba srovės stiprį. Tam naudojami specialūs keičiamos elektrinės varžos prietaisai – **reostatai** (gr. *rheos* – srovė, *statos* – stovintis). Jų yra įvairios paskir-

ties ir konstrukcijos. Pagal laidininkus reostatus galima suskirstyti į metalinius, skystinius ir anglinius. Detaliai išnagrinėsime tik paprasčiausią metalinį reostatą, vadinamą **šliaužikliniu reostatu**.

### Šliaužiklinio reostato sandara

Šliaužiklinis reostatas (5.29 pav.) – tai tuščia-viduris izoliacinės medžiagos ritinys, apvyniotas didelės savitosios varžos nikelinine viela. Ją

dengia plonas nuodegų sluoksnis. Dėl to vijos izoliuotos viena nuo kitos. Virš ritinio įtaisyta stiebas. Juo galima stumdyti šliaužiklį, liečiantį



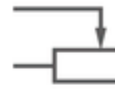
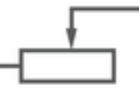
5.29 pav.



vielos vijas. Dėl trinties nuodegos po šliaužiklio kontaktais nusitrina ir elektros srovė nuo gnybto *B* per stiebą, šliaužiklį ir dalį vijų patenka į gnybtą *A*. Stumdydami šliaužiklį, į grandinę įjungiamo didesnę ar mažesnę reostato vielos dalį ir taip padidiname arba sumažiname grandinės varžą. Kiti tokios pat konstrukcijos šliaužikliniai reostatai, be gnybtų *A* ir *B*, turi dar vieną gnybtą, įtaisytą izoliacinio ritinio gale *C*. Tokį reostatą įjungus į grandinę šiuo gnybtu ir

gnybtu *A*, įsijungia visa viela ir grandinės varžos reguliuoti negalima.

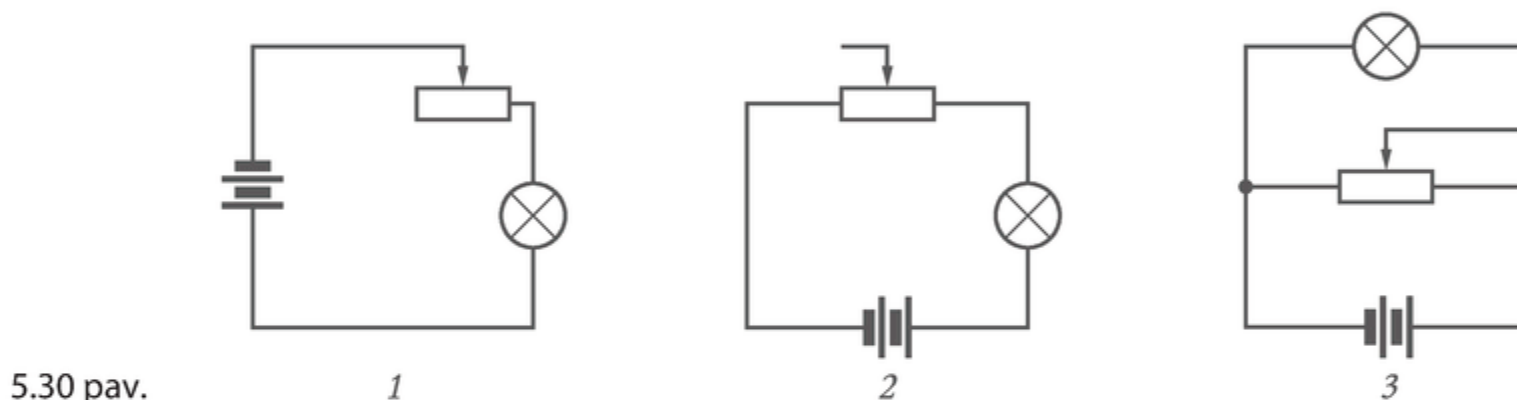
Ant kiekvieno šliaužiklinio reostato nurodyta didžiausia jo varža ir leidžiamoji srovė, kurios negalima viršyti, nes įkais ir perdegs reostato viela. Šie duomenys padeda parinkti įtampą.

Elektrinėse schemose šliaužiklinis reostatas žymimas ženklų  arba  (žr. lentelę p. 74).

## Šliaužiklinio reostato jungimas

Šliaužiklinis reostatas jungiamas į elektrinę grandinę trejopai (5.30 pav.). Tai priklauso nuo reostato paskirties. Įjungus jį 1-uoju būdu, ga-

lima reguliuoti srovės stiprį grandinėje, 2-uoju būdu – tik padidinti grandinės elektrinę varžą, o 3-uoju būdu – tolydžiai keisti įtampą.



5.30 pav.

### Tai įdomu

✳ Šliaužiklinio reostato varža keičiama tolydžiai, tačiau yra reostatų, kurių varžą galima keisti šuoliais. Tokių reostatų rankenėlę pasukant vis į kitą padėtį, kas kart įjungiamas kitoks skaičius vielų, taigi parenkama kitokia varža. 5.31 paveiksle parodytas kištukinis varžynas, kurio varžai įjungiami į grandinę ištraukiant kištukus, o išjungiami vėl įstant juos į lizdus.

✳ Lėmpinio reostato veikimo principas pagrįstas elektros lempučių, praleidžiančių tik tam tikro stiprio elektros srovę, jungimu į atitinkamos įtampos grandinę. Keičiant lempučių skaičių grandinėje, galima reguliuoti jos varžą.



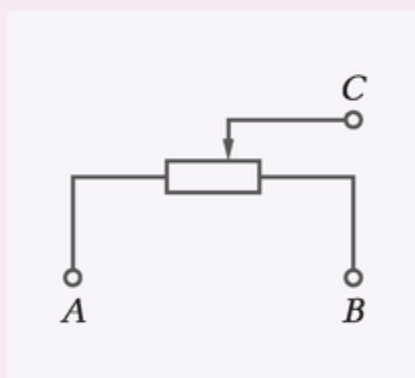
5.31 pav.

✳ Skystinį reostatą sudaro indas su elektrolitu, į kurį įleisti du elektrodai. Varža keičiama keičiant atstumą tarp elektrodų arba jų panardinimo gylį.

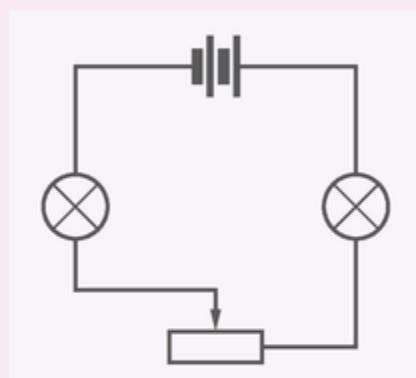
✳ Anglinis reostatas sudarytas iš anglies diskų stulpelio, kurio varža keičiama keičiant stulpelio suspaudimą.

## Užduotys

1. Kokia reostatų paskirtis?
2. Kodėl reostatams pagaminti naudojama nikelininė arba manganinė viela, turinti didelę savitąją varžą?
3. Ant šliaužiklinio reostato yra toks užrašas:  $200\ \Omega$ ,  $1\ \text{A}$ . Ką jis reiškia?
4.  $100\ \text{m}$  ilgio nikelininės vielos skerspjūvio plotas  $0,4\ \text{mm}^2$ . Kokios varžos reostatą galima iš jos pagaminti?
5. Kokia yra  $4\ \text{km}$  ilgio ir  $17\ \Omega$  varžos varinės vielos masė?



5.32 pav.



5.33 pav.

6. Kuri reostato varžos dalis (apytiksliai) įjungta į grandinę, kai reostatas prijungtas gnybtais A ir C; A ir B (5.32 pav.)?
7. Kaip švies lemputės (5.33 pav.), reostato šliaužiklį pastūmus į dešinę; į kairę? Atsakymą paaiškinkite.
8. Trijų vienodo ilgio aliumininių laidininkų skerspjūviai yra skirtingi: pirmojo – kvadratas, kurio kraštinės ilgis  $1\ \text{cm}$ , antrojo – skritulys, kurio skersmens ilgis  $1\ \text{cm}$ , trečiojo – stačiakampis, kurio matmenys  $1\ \text{cm} \times 0,5\ \text{cm}$ . Kurio laidininko varža didžiausia?
- 9\*. Šliaužiklinio reostato konstantinės vielos ilgis  $60\ \text{m}$ , skerspjūvio plotas  $0,15\ \text{mm}^2$ , vijų skaičius 250. Apskaičiuokite:
  - a) reostato varžą;
  - b) šimto vielos vijų varžą.
10. Kokiam didžiausiam srovės stipriui ir įtampai numatyti šliaužikliniai reostatai, kurių duomenys pateikti antrame lentelės stulpelyje?

Eil. nr.	Šliaužiklinis reostatas	Didžiausias srovės stipris, A	Didžiausia įtampa, V
1.	$500\ \Omega$ , $0,6\ \text{A}$		
2.	$1000\ \Omega$ , $0,4\ \text{A}$		
3.	$100\ \Omega$ , $2\ \text{A}$		

## 5.6. Omo dėsnis grandinės daliai

Susipažinome su trimis dydžiais, apibūdinančiais elektrinę grandinę: srovės stipriu  $I$ , įtampa  $U$ , varža  $R$ . Išmokome juos matuoti ir apskaičiuoti. Dabar išnagrinėkime, kaip srovės stipris priklauso

nuo grandinės dalies įtampos ir tos dalies varžos. Aiškinantis trijų dydžių tarpusavio priklausomybę, vienas iš tų dydžių turi būti pastovus. Tada galima nustatyti kitų dviejų sąryšį.

### Kaip srovės stipris priklauso nuo įtampos

Tiriant srovės stiprio priklausomybę nuo įtampos, pastovus dydis yra laidininko varža  $R$ . Šią priklausomybę jau esame nustatę bandymu (žr. 5.3 skyrelį). Tada išsiaiškinome, kad **srovės stip-**

**ris laidininke yra tiesiogiai proporcingas įtampai tarp to laidininko galų:**

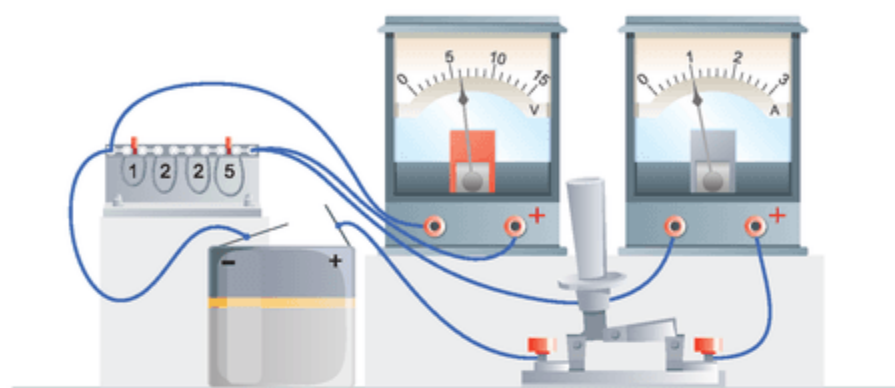
$$I \sim U.$$

Šios priklausomybės grafikas – 5.22 paveiksle.



## Kaip srovės stipris priklauso nuo varžos

Nagrinėjant srovės stiprio priklausomybę nuo laidininko varžos, pastovus dydis yra įtampa  $U$  tarp laidininko galų.



5.34 pav.

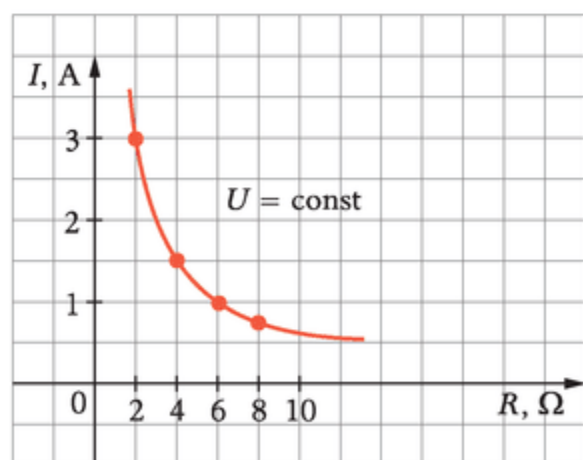
**Bandymas.** Sujunkime prietaisus taip, kaip parodyta 5.34 paveiksle. Palaikydami pastovią įtampą  $U$ , keiskime grandinės dalies varžą  $R$ . Kaskart užrašykime ampermetro rodmenis. Atlikus vieną tokį bandymą, gauti šie duomenys:

Eil. nr.	$U, V$	$R, \Omega$	$I, A$
1.	6	2	3
2.	6	4	1,5
3.	6	6	1
4.	6	8	0,75

Kai įtampa pastovi, srovės stipris sumažėja tiek kartų, kiek kartų padidėja grandinės varža, tai gi **srovės stipris laidininke yra atvirkščiai proporcingas laidininko varžai**:

$$I \sim \frac{1}{R}.$$

Šios priklausomybės grafikas – 5.35 paveiksle.



5.35 pav.

## Omo dėsnis grandinės daliai

Apibendrinę abiejų bandymų duomenis, gauname:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Ši lygybė yra **Omo dėsnio grandinės daliai** matematinė išraiška. O pats dėsnis formuluojamas taip:

elektros srovės stipris grandinės dalyje yra tiesiogiai proporcingas tos dalies įtampai ir atvirkščiai proporcingas jos varžai.

1826 m. jį atrado jau minėtas vokiečių fizikas Georgas Simonas Omas.

Žinodami srovės stiprį ir varžą, galime apskaičiuoti grandinės dalies įtampą:  $U = IR$ , o žinodami įtampą ir srovės stiprį – grandinės dalies varžą:  $R = \frac{U}{I}$ .

**1 uždavinys.** Laidininku, kurio varža  $50 \Omega$ , teka  $120 \text{ mA}$  srovė. Apskaičiuokime laidininko gnybtų įtampą.

$$R = 50 \Omega$$

$$I = 120 \text{ mA} = 0,12 \text{ A}$$

$$U = ?$$

**Sprendimas**

Iš Omo dėsnio grandinės daliai išreiškę įtampą, gauname:

$$U = IR.$$

Įrašę žinomas dydžių vertes, apskaičiuojame įtampos vertę:

$$U = 0,12 \text{ A} \cdot 50 \Omega = 6 \text{ V}.$$

**Atsakymas.**  $U = 6 \text{ V}$ .

**2 uždavinys.** Reostatas pagamintas iš  $100 \text{ m}$  ilgio ir  $1 \text{ mm}^2$  skerspjūvio ploto nikelininės vielos. Jo gnybtų įtampa  $80 \text{ V}$ . Kokio stiprio srovė teka šiuo reostatu?

$$\begin{aligned}
 l &= 100 \text{ m} \\
 S &= 1 \text{ mm}^2 \\
 \rho &= 0,40 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \\
 U &= 80 \text{ V} \\
 \hline
 I &= ?
 \end{aligned}$$

### Sprendimas

Pagal Omo dėsnį grandinės daliai reostatu tekančios srovės stipris  $I = \frac{U}{R}$ .

Apskaičiuojame reostato varžą:

$$R = \rho \frac{l}{S};$$

$$R = 0,40 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{100 \text{ m}}{1 \text{ mm}^2} = 40 \Omega.$$

$$\text{Tada } I = \frac{80 \text{ V}}{40 \Omega} = 2 \text{ A}.$$

**Atsakymas.**  $I = 2 \text{ A}$ .

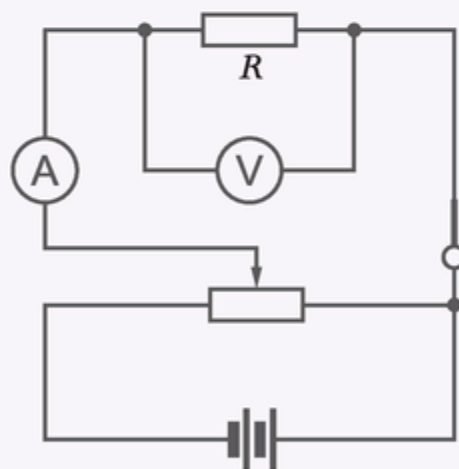
### Tai įdomu

★ Bandymams labiausiai tinka konstantaninė viela, kurios savitoji varža beveik nepriklauso nuo temperatūros (bendruoju atveju savitoji varža priklauso dar ir nuo temperatūros). Konstantanas naudojamas reostatams gaminti. Svarbiausią šio lydinio savybę atspindi jo pavadinimas (lot. *constans* – pastovus).

★ 5.36 paveiksle parodytas šliaužiklinio reostato jungimas vadinamas potenciometriniu – nekeičiant šaltinio, galima gauti įvairias įtampas. Potenciometrui reguliuojamas radijo imtuvo arba televizoriaus garsas.

### Užduotys

1. Srovės stiprio priklausomybę nuo įtampos tyrėme keisdami srovės šaltinius (žr. 5.3 skyrelio bandymą p. 90). Tačiau įtampą galima keisti paprasčiau, naudojant reostatą. Įsitikinkite tuo sujungę elektrinę grandinę pagal 5.36 paveiksle pavaizduotą schemą. Susiplanavę bandymą, patikrinkite srovės stiprio priklausomybę nuo įtampos.



5.36 pav.

2. Iš Omo dėsnio išplaukia, kad  $R = \frac{U}{I}$ . Kodėl negalima tvirtinti, kad laidininko varža tiesiogiai proporcinga laidininko galų įtampai ir atvirkščiai proporcinga juo tekančios srovės stipriui?
3. Grandinė tekančios srovės stiprį reikia padidinti 3 kartus. Kaip tai galima padaryti?

4. Remdamiesi Omo dėsnio grandinės daliai, apskaičiuokite trūkstamas dydžių vertes:

Eil. nr.	Įtampa $U$	Varža $R$	Srovės stipris $I$
1.	6 V	2 $\Omega$	
2.	12 V		4 A
3.		55 $\Omega$	4 A
4.		200 $\Omega$	500 mA

5. Elektrinė grandinė, sudaryta iš srovės šaltinio ir 8  $\Omega$  varžos varžo, teka 0,5 A stiprio srovė. Kokią įtampą rodys prie varžo gnybtų prijungtas voltmetas?
6. Varžu, kurio galų įtampa lygi 120 V, teka 6 A srovė. Koks bus srovės stipris šiame varže, jeigu jo galų įtampą sumažinsime 20 V?
7. 30 m ilgio geležinės vielos skerspjūvio plotas 1,5 mm<sup>2</sup>. Kokia turi būti įtampa tarp vielos galų, kad ja galėtų tekėti 10 A srovė?
- 8\*. Vielos ilgis 0,38 m, o skerspjūvio plotas 0,35 mm<sup>2</sup>. Kai įtampa tarp šios vielos galų lygi 0,6 V, viela teka 500 mA stiprio srovė. Iš kokios medžiagos pagaminta viela?



## Skyriaus „Elektros srovės stipris, įtampa, varža“ santrauka

<p>Elektros srovės stipris</p> $I = \frac{Q}{t}$ $[I] = 1 \text{ A}$	<p>Elektros srovės stipris rodo, kokio dydžio elektros krūvis prateka laidininko skerspjūviu per 1 s.</p> <p>Elektros srovės stipris lygus elektros krūvio <math>Q</math> ir laiko <math>t</math>, per kurį tas krūvis prateka laidininko skerspjūviu, santykiui.</p> <p>Srovės stiprio matavimo vienetas yra amperas.</p> <p>Srovės stiprio matavimo prietaisas – ampermetras. Su kitais grandinės elementais jis jungiamas nuosekliai. Varža maža.</p>
<p>Elektrinė įtampa</p> $U = \frac{A}{Q}$ $[U] = 1 \text{ V}$	<p>Elektrinė įtampa lygi elektros srovės darbo ir grandinė pratekėjusio elektros krūvio santykiui.</p> <p>Įtampos matavimo vienetas yra voltas. Tai tokia įtampa tarp laidininko galų, kai, juo pratekant 1 C krūviui, elektrinis laukas atlieka 1 J darbą.</p> <p>Įtampos matavimo prietaisas – voltmetras. Jis jungiamas į grandinę lygiagrečiai. Varža didelė.</p>
<p>Elektrinė varža</p> $R = \rho \frac{l}{S}$ $[R] = 1 \Omega$	<p>Elektrinė varža – tai medžiagos savybė priešintis elektros srovei.</p> <p>Laidininko elektrinė varža yra tiesiogiai proporcinga laidininko ilgiui, atvirkščiai proporcinga jo skerspjūvio plotui ir priklauso nuo laidininko medžiagos.</p> <p>Varžos matavimo vienetas yra omas. <math>1 \Omega</math> lygus varžai tokio laidininko, kuriuo teka 1 A srovė, kai įtampa tarp jo galų lygi 1 V.</p> <p>Varžos matavimo prietaisas – ommetras.</p>
<p>Medžiagos savitoji elektrinė varža</p> $[\rho] = 1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ $[\rho] = 1 \Omega \cdot \text{m}$	<p>Ji apibūdina medžiagos laidumą elektros srovei.</p> <p>Savitąja vadinama 1 m ilgio ir <math>1 \text{ mm}^2</math> skerspjūvio ploto laidininko varža.</p>
Varžas	Varžas yra prietaisas grandinės elektrinei varžai padidinti.
Reostatas	Reostatas – prietaisas grandinės elektrinei varžai reguliuoti (padidinti arba sumažinti). Šliaužikliniu reostatu vadinamas reostatas, turintis šliaužiklį.
<p>Omo dėsnis grandinės daliai</p> $I = \frac{U}{R}$	<p>Elektros srovės stipris grandinės dalyje yra tiesiogiai proporcingas tos dalies įtampai ir atvirkščiai proporcingas jos varžai.</p>

# Savikontrolės užduotys

1. Koks fizikinis dydis matuojamas šiais vienetais:

a) omais; b) voltais; c) amperais?

2. 5.37 paveiksle pavaizduota keletas elektros matavimo prietaisų skalių.

a) Kaip vadinami šie prietaisai?

b) Nurodykite jų matavimo ribas.

c) Nustatykite kiekvieno prietaiso skalės padalos vertę.

d) Užrašykite kiekvieno prietaiso rodmenį, atsižvelgdami į absoliučiąją matavimo paklaidą.

3. Degančia 6 V automobilio lempute teka 5 A stiprio srovė. Apskaičiuokite lemputės siūlo varžą.

4. Grandinė sujungta pagal 5.38 paveikslo schemą.

a) Kokį srovės stiprį rodo ampermetras?

b) Koks elektros krūvis prateka varžą per 1 min?

c) Kokį darbą per tą laiką atlieka elektrinio lauko jėgos?

5. 5.39 paveiksle pateiktas dviejų dydžių tarpusavio priklausomybės grafikas.

a) Kurių dydžių tarpusavio priklausomybę jis vaizduoja?

b) Kokia yra ta priklausomybė?

c) Kokio dar fizikinio dydžio vertę galima apskaičiuoti iš šio grafiko? Apskaičiuokite tą vertę.

6. Kiek kartų ir kodėl pakito reostato galų įtampa, jei srovės stipris sumažėjo perpus?

7. Nuo ko priklauso laidininko varža?

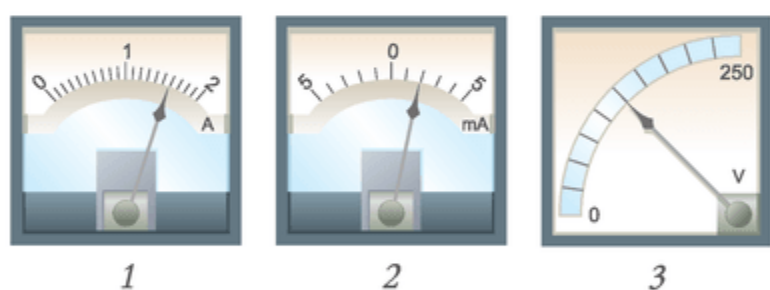
**A** Nuo laidininko ilgio, skerspjūvio ploto ir gnybtų įtampos.

**B** Nuo laidininko masės ir juo tekančios srovės stiprio.

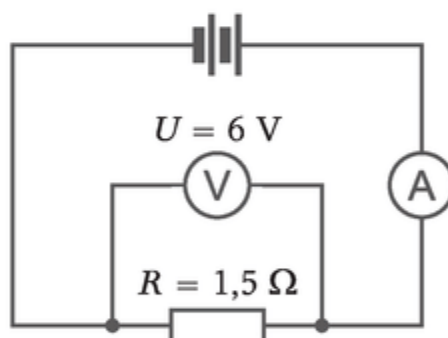
**C** Nuo laidininko ilgio, skerspjūvio ploto ir medžiagos.

**D** Nuo laidininko medžiagos ir ilgio.

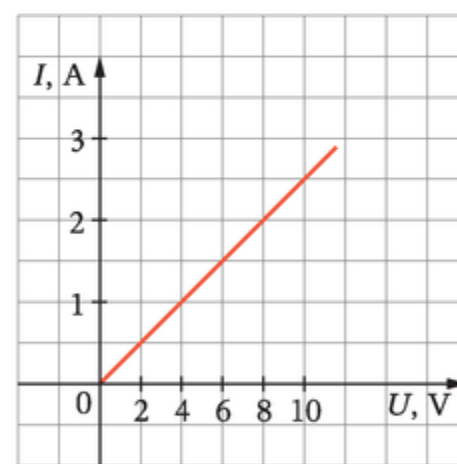
8.  $40\ \Omega$  varžos reostatas pagamintas iš  $0,2\ \text{mm}^2$  skerspjūvio ploto nikelininės vielos. Kiek metrų vielos tam sunaudota?



5.37 pav.



5.38 pav.



5.39 pav.





## E L E K T R A

# 6

### Laidininkų jungimo būdai

Šiame skyriuje susipažinsite su:

- labiausiai paplitusiais laidininkų jungimo būdais (nuosekliuoju ir lygiagrečiuoju);
- srovės stiprio, įtampos ir varžos skaičiavimu įvairiose grandinės dalyse.

## 6.1. Nuoseklusis laidininkų jungimas

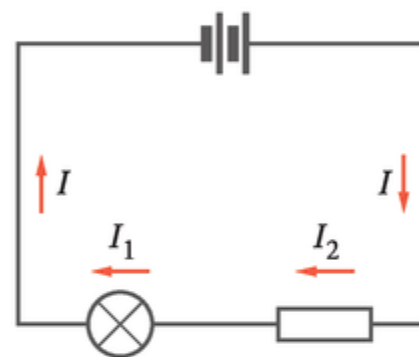
Butų apšvietimo tinklo, šiuolaikinių elektrinių prietaisų elektrinės schemos yra labai sudėtingos. Tačiau visose jose galima išvelgti du laidininkų jungimo būdus: **nuosėklųjį** ir **lygiagrėtųjį**. Juos nagrinėjant, svarbu išsiaiškinti:

- kokio stiprio srovė teka visa grandine ar jos dalimis;
- kaip grandinėje pasiskirsto įtampa;
- kokia yra visos grandinės arba kai kurių jos dalių varža.

### Srovės stipris nuosekliojoje grandinėje

Atlikdami 3-iąją laboratorinį darbą, sužinojome, kad **nuosekliuoju** vadinamas toks elektrinės grandinės jungimas, kai jos dalys jungiamos viena po kitos. Ta pati srovė iš eilės teka visomis grandinės dalimis, todėl **nuosekliai sujungtų laidininkų grandinės kiekvienoje dalyje srovės stipris yra vienodas**. Pavyzdžiui, lemputė ir varžu (6.1 pav.), kurie sujungti nuosekliai, teka vienodo stiprio srovė, lygi srovės stipriui jungiamuosiuose laiduose:

$$I = I_1 = I_2.$$



6.1 pav.

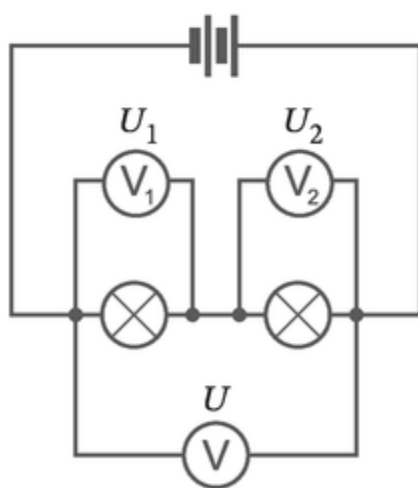
### Nuoseklosios grandinės įtampa

O kaip susijusi įtampa tarp keleto nuosekliai sujungtų laidininkų galų su kiekvieno tų laidininkų galų įtampa?

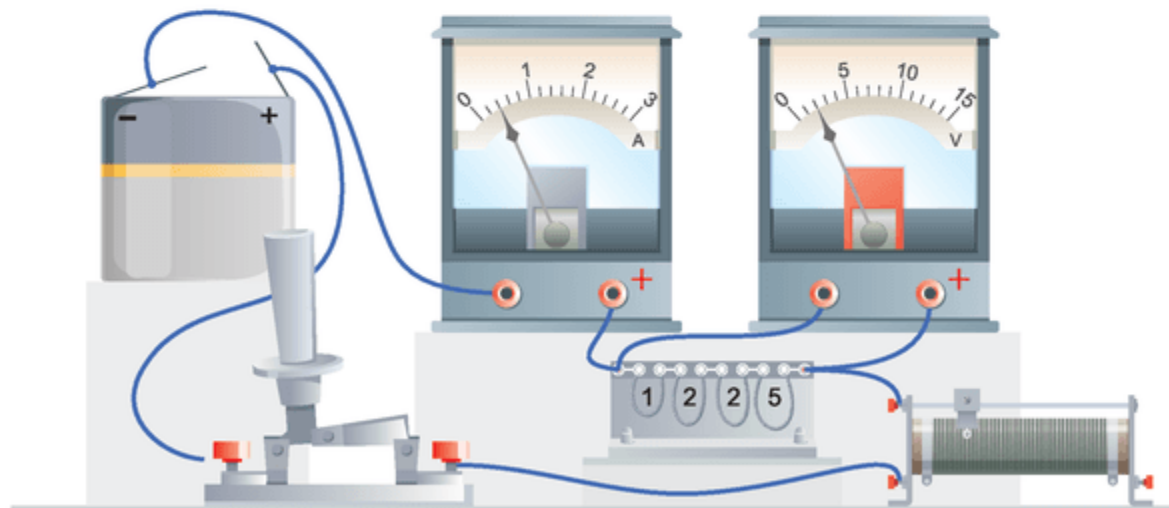
**1 bandymas.** Nuosekliai sujunkime dvi lemputes ir srovės šaltinį. Voltmetru išmatuokime kiekvienos lemputės gnybtų įtampą  $U_1$  ir  $U_2$  ir

bendrą abiejų lempučių įtampą  $U$  (6.2 pav.). Jas palyginę, matome, kad bendra įtampa lygi lempučių įtampų sumai.

**2 bandymas.** Nuosekliai sujunkime srovės šaltinį, ampermetrą, kištukinį varžyną, šliaužiklinį reostatą ir jungiklį (6.3 pav.). Voltmetrą lygia-



6.2 pav.



6.3 pav.



grečiai prijungdami prie įvairių grandinės dalių, išmatuokime tų dalių įtampą. Atlikus bandymą, buvo gauti tokie rezultatai:

Grandinės dalis	Įtampa
Visas kištukinis varžynas (10 Ω)	2,5 V
Paskutinė varžyno spiralė (5 Ω)	1,25 V
Pirmoji varžyno spiralė (1 Ω)	0,25 V
Šliaužiklinis reostatas	1,25 V
Jungiklis	0 V
Jungiamieji laidai	0 V
Ampermetras	0 V
<b>Visa grandinė</b>	<b>3,75 V</b>

Ir šis bandymas rodo, kad **nuosekliai sujungtų laidininkų visos grandinės įtampa lygi atskirų jos dalių įtampų sumai**. Kai yra du laidininkai,

$$U = U_1 + U_2. \quad (1)$$

## Nuosekliosios grandinės varža

Iš Omo dėsnio grandinės daliai išplaukia, kad  $U = IR$ . Pritaikę šį dėsnį 6.2 paveiksle pa-  
vaizduotai elektrinei grandinei, gauname:

$$U = IR, \quad U_1 = IR_1 \quad \text{ir} \quad U_2 = IR_2.$$

Įrašykime šias įtampas išraiškas į 1 lygybę:

$$IR = IR_1 + IR_2.$$

Abi jos puses padalykime iš  $I$ :

$$R = R_1 + R_2.$$

**Nuosekliai sujungtų laidininkų pilnutinė varža lygi atskirų grandinės laidininkų varžų sumai.**

Spręsdami uždavinius, jungiamųjų laidų varžos paprastai nepaisome, nes ji yra maža, palyginti su laidininkų varža.

Minėti srovės stiprio, įtampas ir varžos dėsniai galioja visiems nuosekliai sujungtiems laidininkams, nesvarbu, kiek jų yra grandinėje.

Perdegus nors vienam prietaisui ar nutrūkus jungiamajam laidui, elektros srovė neteka visa nuoseklia grandine.

**Uždavinys.** 40 lempučių eglutės girlianda numatyta 220 V įtampai. Kiekvienos lemputės varža lygi 11 Ω. Kokio stiprio srovė teka girlianda? Kokio dydžio yra kiekvienos lemputės gnybtų įtampa?

$$\begin{aligned} n &= 40 \\ U &= 220 \text{ V} \\ R_1 &= 11 \, \Omega \\ I &= ? \\ U_1 &= ? \end{aligned}$$

### Sprendimas

Girliandos lemputės sujungtos nuosekliai, todėl kiekviena lemputė ir visa grandinė tekės tokia pat srovė

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n.$$

Grandinės pilnutinė varža lygi visų lempučių varžų sumai. Kadangi lemputės yra vienodos, tai

$$R = nR_1; \quad R = 40 \cdot 11 \, \Omega = 440 \, \Omega.$$

### Tai įdomu

★ Kad darbininkas nesusižalotų rankų, popieriaus pjautymo mašinoje įtaisyti du nuosekliai sujungti jungikliai. Mašiną galima įjungti tik tada, kai abu jie nuspaušti (6.4 pav.). Atleidus vieną jungiklį, peilis staiga sustoja.



6.4 pav.



Srovės stiprį eglutės girliandoje apskaičiuojame pagal Omo dėsnį grandinės daliai

$$I = \frac{U}{R}; \quad I = \frac{220 \text{ V}}{440 \Omega} = 0,5 \text{ A}.$$

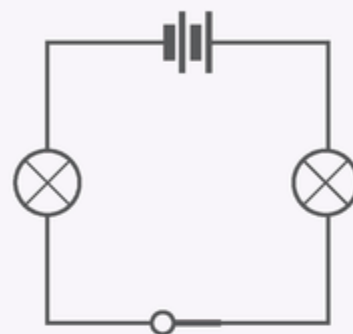
Lemputės gnybtų įtampa

$$U_1 = I_1 R_1; \quad U_1 = 0,5 \text{ A} \cdot 11 \Omega = 5,5 \text{ V}.$$

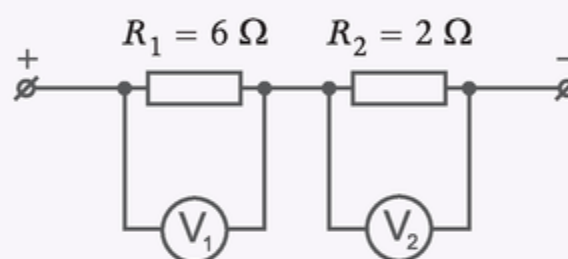
*Atsakymas.*  $I = 0,5 \text{ A}$ ;  $U_1 = 5,5 \text{ V}$ .

### Užduotys

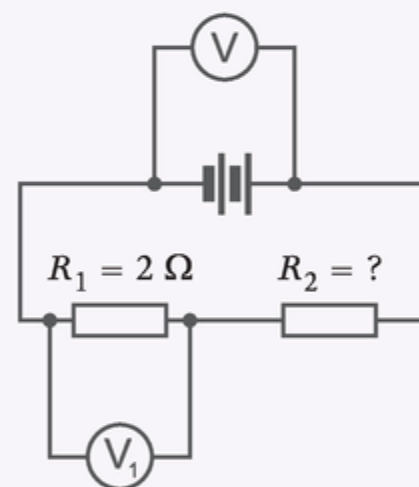
1. Pagal 6.5 paveikslą pavaizduotą schemą sujungtoje grandinėje 2 V įtampai numatytos lemputės šviečia normaliai. Apskaičiuokite šaltinio gnybtų įtampą.
2. Pagal 6.6 paveikslą pavaizduotą schemą sujungta elektrinė grandinė. Voltmetras  $V_1$  rodo 12 V. Koks yra voltmetro  $V_2$  rodmuo?
3. Pagal 6.7 paveikslą pavaizduotą schemą sujungtoje grandinėje voltmetras  $V$  rodo 4 V, o voltmetras  $V_1$  – 1 V. Nustatykite, kokio dydžio yra varža  $R_2$ .
4. Prie srovės šaltinio nuosekliai prijungtos dvi vienodų matmenų spiralės: geležinė ir varinė. Kurios iš jų gnybtų įtampa didesnė?
5. Kaip galima apšviesti Kalėdų eglutę mažos įtampos lemputėmis?
6. Eglutės girliandą sudaro lemputės, kurių kiekvienos varža lygi  $20 \Omega$ . Jos vartoja 0,3 A stiprio elektros srovę. Kiek tokių lempučių reikia nuosekliai sujungti girliandoje, kad ją būtų galima įjungti į 220 V įtampos tinklą?
7. 6.8 paveikslą pavaizduota elektrinės grandinės schema. Į šią grandinę įjungtas ampermetras rodo 1,5 A, voltmetras – 6 V;  $R_1 = 4 \Omega$ ,  $R_3 = 8 \Omega$ . Apskaičiuokite grandinės pilnutinę varžą.
- 8\*. Į 100 V įtampos grandinę įjungta elektromagneto ritė. Kai prie jos nuosekliai buvo prijungtas reostatas, srovės stipris sumažėjo nuo 10 A iki 4 A. Kaip manote, kodėl? Apskaičiuokite reostato varžą. Nubraižykite grandinės schemą.
9. Lemputė, numatyta 6 V įtampai ir 5 A stiprio srovei, prie 6 V įtampos šaltinio prijungta 20 m ilgio ir  $1 \text{ mm}^2$  skerspjūvio ploto variniais laidais. Ar lemputė švies normaliai? Atsakymą pagrįskite.
10. Elektrinę grandinę sudaro akumuliatorių baterija, sukurianti grandinėje 6 V įtampą, kišeninio žibintuvėlio lemputė, kurios varža  $13,5 \Omega$ , dvi  $3 \Omega$  ir  $2 \Omega$  varžos spiralės, jun-



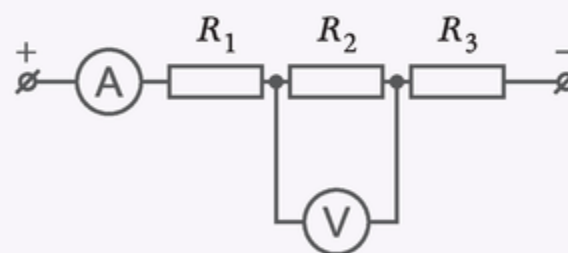
6.5 pav.



6.6 pav.



6.7 pav.



6.8 pav.

giklis ir laidai. Visos sudedamosios grandinės dalys sujungtos nuosekliai. Nubraižykite grandinės schemą, apskaičiuokite srovės stiprį grandinėje ir kiekvieno imtuvo įtampą.



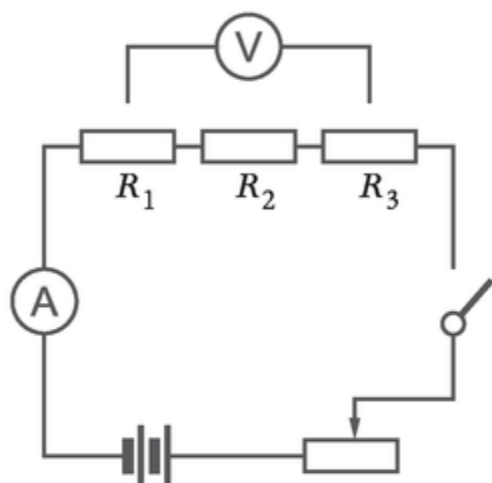
## 5-asis laboratorinis darbas

### Nuosekliojo laidininkų jungimo tyrimas

Priemonės: 1) kišeninio žibintuvėlio baterija; 2) trys kištukiniai varžynai; 3) ampermetras; 4) voltmetras; 5) jungiklis; 6) šliaužiklinis reostat; 7) jungiamieji laidai.

#### Darbo eiga

1. Pagal 6.9 paveiksle pavaizduotą schemą sujunkite elektrinę grandinę be voltmetro.



6.9 pav.

2. Prie voltmetro gnybtų prijunkite du laidus, kitus jų galus palikite laisvus.

3. Įjungę jungiklį, ampermetru išmatuokite srovės stiprį  $I$  grandinėje.

4. Matavimo duomenį įrašykite iš anksto sąsiuvinyje nubraižytoje lentelėje:

5. Ampermetrą įjungdami įvairiose grandinės vietose, išmatuokite srovės stiprį.

6. Prie voltmetro prijungtų laidų laisvaisiais galais palieskite iš eilės visų varžynų gnybtus ir išmatuokite jų įtampą  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ . Gautas vertes surašykite atitinkamose lentelės skiltyse.

7. Voltmetru išmatuokite visų nuosekliai sujungtų varžynų bendrą įtampą  $U$ .

8. Pagal ampermetro ir voltmetro rodmenis apskaičiuokite kiekvieno į grandinę įjungto varžyno varžą  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ir nuosekliai sujungtų varžynų pilnutinę varžą. Skaičiavimo duomenis surašykite lentelėje.

9. Patikrinkite, ar pasitvirtino jau žinomi nuosekliojo laidininkų jungimo dėsningumai:

$$\begin{aligned} I &= I_1 = I_2 = I_3, \\ U &= U_1 + U_2 + U_3, \\ R &= R_1 + R_2 + R_3. \end{aligned}$$

10. Padarykite išvadą.

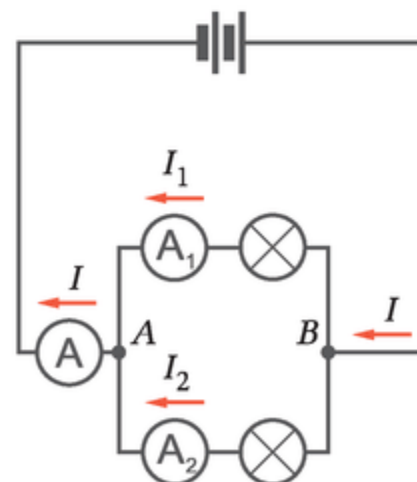
$I, A$	$U_1, V$	$U_2, V$	$U_3, V$	$U, V$	$R_1, \Omega$	$R_2, \Omega$	$R_3, \Omega$	$R, \Omega$

## 6.2. Lygiagretusis laidininkų jungimas

### Srovės stipris lygiagrečiojoje grandinėje

Elektrinėse grandinėse kelių laidininkų vieną galą galima sujungti viename taške, o kitą jų visų galą – kitame (6.10 pav.). Toks laidininkų jungimo būdas vadinamas **lygiagrečiuoju** (akivaizdus lygiagretumas yra tik schemose).

Nagrinėdami 6.10 paveiksle pateiktą schemą, galime padaryti tokią prielaidą: iš srovės šaltinio



6.10 pav.

neigiamą poliaus tekėdami elektronai (nepa-  
mirškime, kad srovės kryptis yra iš teigiamąjo  
šaltinio poliaus į neigiamąjį) šakojimosi taške  $A$   
pasiskirsto į dvi dalis (šakas), o taške  $B$  vėl su-  
daro bendrą srovę. Į tašką  $A$  per sekundę atite-  
kančių elektronų skaičius turi būti lygus iš jo  
ištekančių elektronų skaičiui. Ši prielaida galioja  
ir taškui  $B$ . Vadinasi, **srovės stipris nešakoti-  
nėje grandinės dalyje lygus srovės stiprių  
atskiruose lygiagrečiai sujungtuose laidini-  
nukuose sumai:**

$$I = I_1 + I_2. \quad (1)$$

Patikrinkime šį teiginį.

**1 bandymas.** Sujunkime grandinę pagal  
6.10 paveiksle pavaizduotą elektrinę schemą.  
Ampermetrai rodo srovės stiprį įvairiose gran-  
dinės dalyse. Palyginkime ampermetrų  $A_1$  ir  
 $A_2$  rodmenų sumą su ampermetro  $A$  rodmeniu.  
Bandymo rezultatas patvirtina mūsų prielaidą.

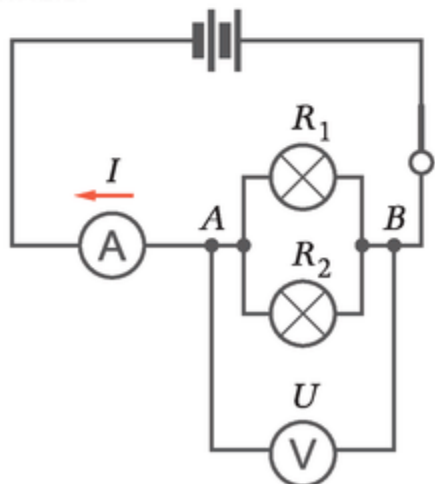
## Lygiagrečiosios grandinės įtampa

O kaip lygiagrečiai sujungtuose laidininkuo-  
se pasiskirsto įtampa, kokia yra lygiagrečiosios  
grandinės pilnutinė varža?

**2 bandymas.** Lempučių, kurių varža  $R_1$  ir  $R_2$ ,  
sujunkime pagal 6.11 paveiksle pavaizduotą sche-  
mą. Tarp grandinės taškų  $A$  ir  $B$  įjungtas volt-  
metras rodo vienodą abiejų lempučių įtampą:

$$U = U_1 = U_2.$$

Taigi **lygiagrečiai sujungtų laidininkų ga-  
lų ir visos šakotinės grandinės dalies įtam-  
pa yra vienoda.**



6.11 pav.

## Lygiagrečiosios grandinės varža

Schemas (6.11 pav.) dalims pritaikykime Omo  
dėsni:

$$I = \frac{U}{R}, \quad I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}. \quad (2)$$

Srovės stipris grandinėje lygus srovės stiprių  
atskirose jos šakose sumai (žr. 1 formulę). 2 ly-  
gybes įrašome į 1:

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}.$$

Tačiau  $U = U_1 = U_2$ , todėl  $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$ . Abi  
lygybės puses padaliję iš  $U$ , gauname:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad \text{arba} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Šios formulės sieja lygiagrečiosios grandinės  
pilnutinę varžą su atskirų jos dalių varžomis. Kai  
lygiagrečiai sujungti du vienodos varžos laidini-  
ninkai, tai  $R_1 = R_2$  ir grandinės pilnutinė varža

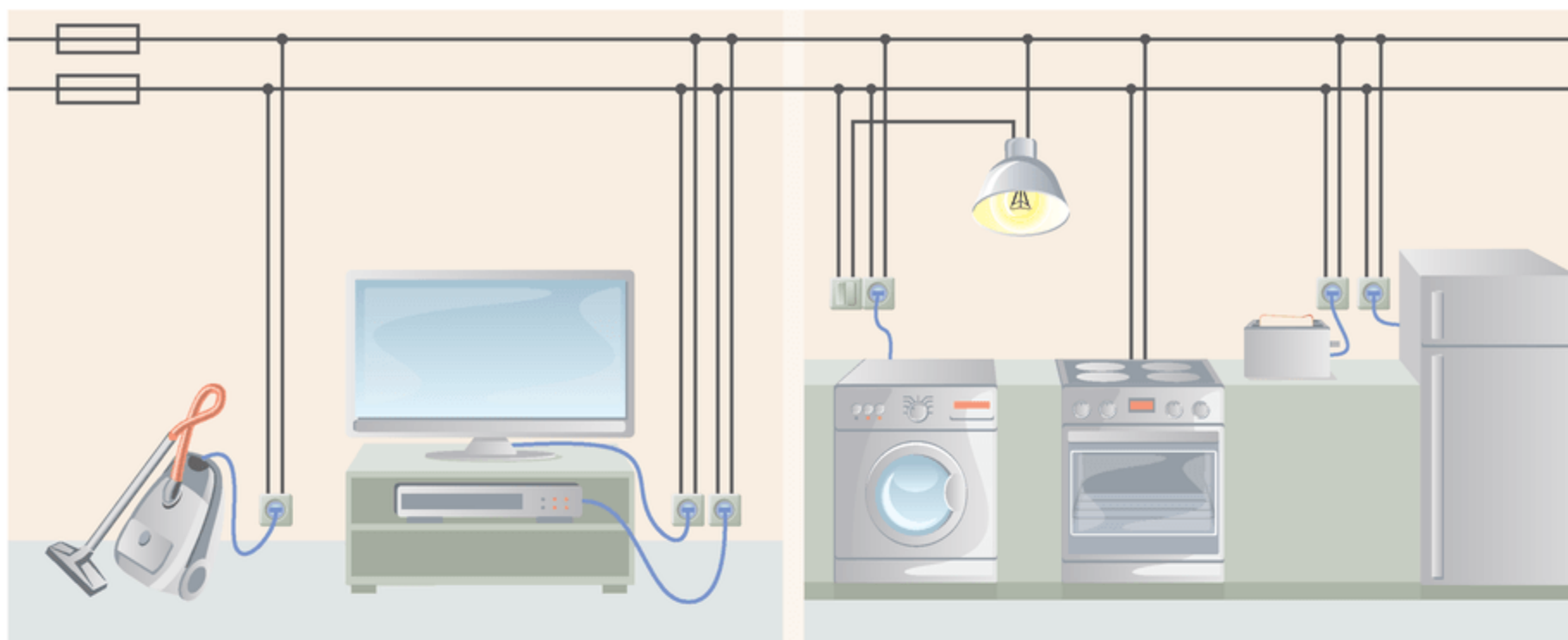
$$R = \frac{R_1 R_1}{R_1 + R_1}, \quad \text{arba} \quad R = \frac{R_1}{2}. \quad (3)$$

Lygiagrečiai sujungus laidininkus, grandinės  
pilnutinė varža sumažėja. Tai akivaizdžiai matyti  
iš 3 formulės – dviejų lygiagrečiai sujungtų vie-  
nodos varžos laidininkų pilnutinė varža perpus  
mažesnė už vieno tokio laidininko varžą. Kodėl?  
Mat, sujungus laidininkus, tarsi padidėja laidini-  
ninko skerspjūvio plotas. Kiek kartų jis padidėja,  
tiek kartų sumažėja varža (nes  $R = \rho \frac{l}{S}$ ).

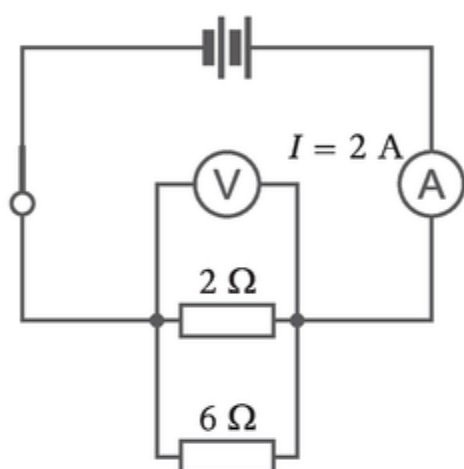
Aptarti srovės stiprio, įtampos ir varžos dės-  
ningumai galioja visiems lygiagrečiai sujung-  
tiems laidininkams, nesvarbu, kiek jų yra elek-  
trinėje grandinėje.

Lygiagrečiai jungiami elektros energijos imtu-  
vai numatomi vienodai įtampai. Mūsų butų ap-  
švietimo tinklo įtampa yra 220 V, todėl elektros  
lentos, buitiniai prietaisai pritaikyti būtent to-  
kiai įtampai. Šis elektros energijos imtuvų jun-  
gimo būdas patogus tuo, kad, išjungus vieną jų,  
kiti veikia. Buityje naudojamų elektrinių prie-  
taisų jungimo (lygiagrečiojo) principinė schema  
parodyta 6.12 paveiksle.





6.12 pav.



6.13 pav.

**1 uždavinys.** Pagal 6.13 paveiksle pavaizduotą schemą sujungta elektrinė grandinė. Kiek voltų rodo voltmetras?

$$\begin{aligned} I &= 2 \text{ A} \\ R_1 &= 2 \Omega \\ R_2 &= 6 \Omega \\ \hline U &= ? \end{aligned}$$

*Sprendimas*

Abu varžai sujungti lygiagrečiai, todėl grandinės dalies įtampa lygi kiekvieno varžo įtampai:  $U = U_1 = U_2$ . Pagal Omo dėsnį  $U = IR$ . Apskaičiuojame lygiagrečiai sujungtų varžų varžą:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}; \\ \frac{1}{R} &= \frac{1}{2 \Omega} + \frac{1}{6 \Omega} = \frac{4}{6 \Omega}; \\ R &= \frac{6 \Omega}{4} = 1,5 \Omega. \end{aligned}$$

Tada

$$U = 2 \text{ A} \cdot 1,5 \Omega = 3 \text{ V}.$$

*Atsakymas.*  $U = 3 \text{ V}$ .

**2 uždavinys.** Grandinės dalį sudaro  $50 \Omega$  ir  $80 \Omega$  laidininkai, sujungti lygiagrečiai. Srovės stipris pirmame laidininke  $4,4 \text{ A}$ . Kokio stiprio srovė teka antru laidininku ir visa grandinės dalimi?

$$\begin{aligned} R_1 &= 50 \Omega \\ R_2 &= 80 \Omega \\ I_1 &= 4,4 \text{ A} \\ \hline I_2 &= ? \\ I &= ? \end{aligned}$$

*Sprendimas*

Pagal Omo dėsnį  $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ . Kadangi  $U_2 = U_1 = U$ , o  $U_1 = I_1 R_1$ , tai  $I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2}$ .

Įrašę dydžių vertes, gauname:

$$I_2 = \frac{4,4 \text{ A} \cdot 50 \Omega}{80 \Omega} = 2,75 \text{ A}.$$

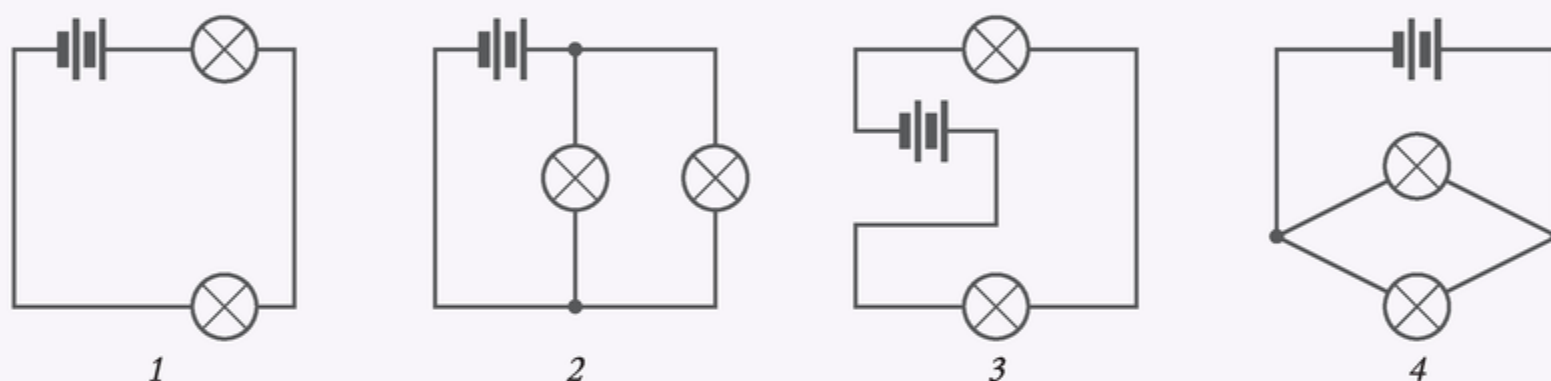
Apskaičiuojame srovės stiprį visoje grandinės dalyje:

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2; \\ I &= 4,4 \text{ A} + 2,75 \text{ A} = 7,15 \text{ A}. \end{aligned}$$

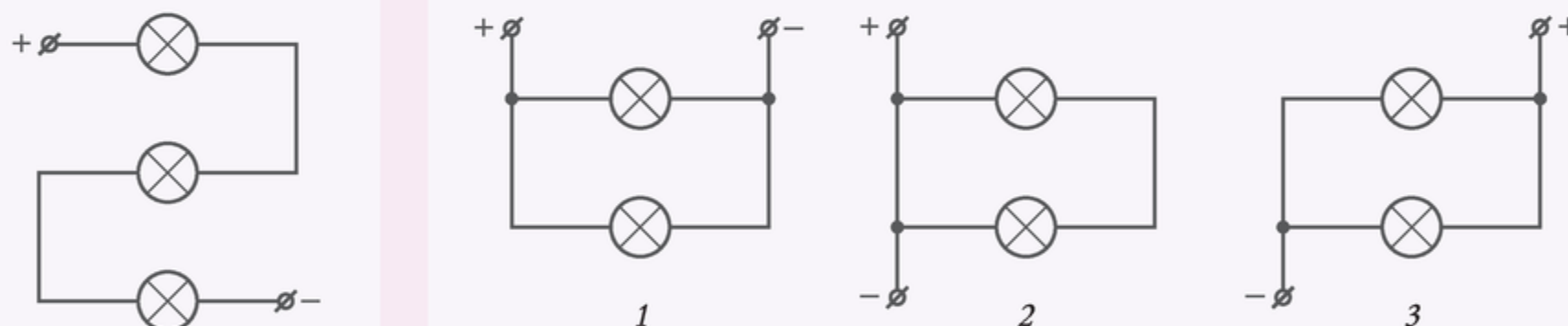
*Atsakymas.*  $I_2 = 2,75 \text{ A}$ ;  $I = 7,15 \text{ A}$ .

## Užduotys

1. Kaip sujungtos lemputės elektrinėse schemose (6.14 pav.)?
2. Kaip paprasčiausiu būdu nuoseklyjį lempučių jungimą (6.15 pav.) pakeisti lygiagrečiuoju? (Ir sujungtos lygiagrečiai lemputės neperdega.)
3. 6.16 paveiksle pateiktos trys elektros lempučių lygiagrečiojo jungimo schemas. Kurioje iš jų yra klaidų?
4. Į tą patį tinklą įjungti įvairūs buitiniai prietaisai: lempa, viryklė, lygintuvas, kompiuteris, skalbyklė ir t. t. Kodėl jais teka nevienodo stiprio srovė?
5. Trys vienodo ilgio ir skerspjūvio vielos – geležinė, sidabrinė ir varinė – lygiagrečiai įjungtos į grandinę. Kuria viela teka stipriausia srovė?
6. Du vienodi šliaužikliniai reostatai įjungti į grandinę pagal 6.17 paveiksle pavaizduotą schemą. Ar keisis ampermetro rodmuo, jei:
  - a) abiejų reostatų šliaužiklius stumsime į kairę;
  - b) viršutinio reostato šliaužiklį stumsime į kairę, apatinio – į dešinę?
7. Grandinėje lygiagrečiai sujungti keturi skirtingi varžai:  $2\ \Omega$ ,  $4\ \Omega$ ,  $8\ \Omega$  ir  $16\ \Omega$ . Apskaičiuokite grandinės pilnutinę varžą. Nubraižykite jungimo schemą.
8.  $15\ \Omega$  varžos varinis laidas buvo supjaustytas į 5 lygias dalis ir iš jų supintas lynas. Apskaičiuokite lyno varžą.
9. Miestelyje yra 400 butų. Kiekvieno jų vartojamos elektros srovės stipris vidutiniškai lygus  $6\ \text{A}$ . Koks yra į miestelį laidais atitekančios elektros srovės stipris?
10. Apskaičiuokite grandinės dalies (6.18 pav.) varžą  $R_3$ , kai  $I = 15\ \text{A}$ ,  $I_2 = 5\ \text{A}$ ,  $R_1 = 10\ \Omega$ ,  $R_2 = 6\ \Omega$ .

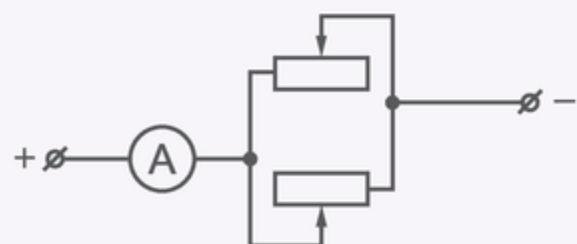


6.14 pav.

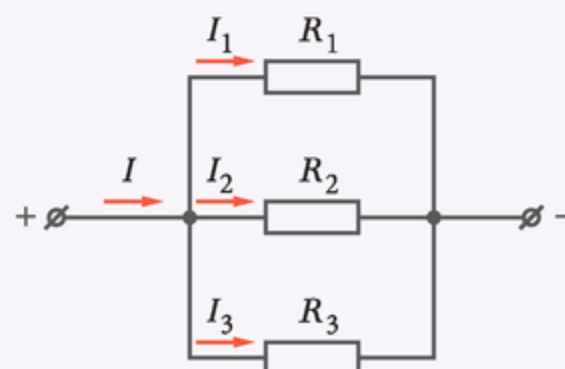


6.15 pav.

6.16 pav.



6.17 pav.



6.18 pav.



## 6-asis laboratorinis darbas

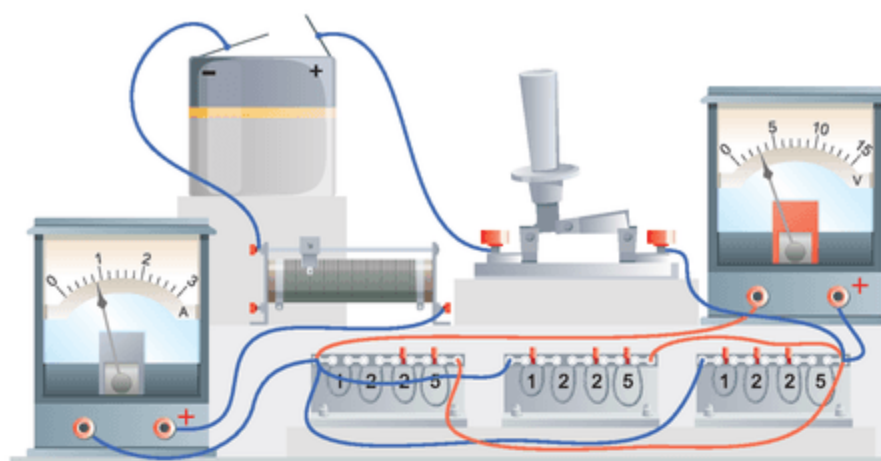
### Lygiagrečiojo laidininkų jungimo tyrimas

*Priemonės:* 1) kišeninio žibintuvėlio baterija; 2) trys kištukiniai varžynai; 3) šliaužiklinis reostatas; 4) ampermetras; 5) voltmetras; 6) jungiklis; 7) jungiamieji laidai.

#### Darbo eiga

1. Sujunkite elektrinę grandinę (6.19 pav.).
2. Voltmetru išmatuokite įtampą  $U$  tarp lygiagrečiai sujungtų kištukinių varžynų galų.
3. Ampermetrą jungdami iš eilės į nešakotinę grandinės dalį ir į lygiagrečias jos šakas, išmatuokite srovės stiprį  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  ir  $I_3$ .
4. Remdamiesi Omo dėsniu, apskaičiuokite grandinės pilnutinę varžą  $R$  ir kiekvieno kištukinio varžyno varžą  $R_1$ ,  $R_2$  ir  $R_3$ .
5. Matavimo ir skaičiavimo duomenis surašykite iš anksto sąsiuvinyje nubraižytoje lentelėje:

$U, V$	$I, A$	$I_1, V$	$I_2, V$	$I_3, V$	$R, \Omega$	$R_1, \Omega$	$R_2, \Omega$	$R_3, \Omega$



6.19 pav.

6. Patikrinkite, ar pasitvirtino 6.2 skyrelyje išnagrinėti lygiagrečiojo laidininkų jungimo dėsningumai:

$$I = I_1 + I_2 + I_3,$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3,$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

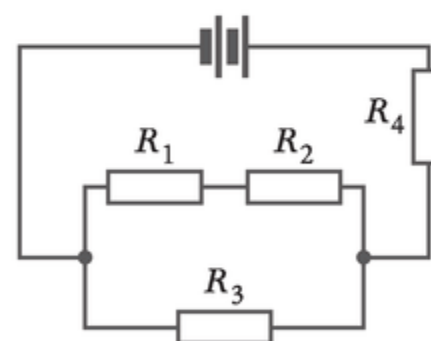
7. Padarykite išvadą.

## 6.3. Nuoseklusis ir lygiagretusis jungimas kartu

Praktikoje laidininkai retai jungiami grandinėje vien nuosekliai arba vien lygiagrečiai. Toje pačioje grandinėje abu šie būdai dažnai yra derinami. Taip sujungti laidininkai jau buvo ir kai kuriose anksčiau nagrinėtose grandinėse, pavyzdžiui, pavaizduotose 6.3, 6.9 ar 6.19 paveiksle. Jose voltmetras su elektros energijos imtuvu sujungtas lygiagrečiai, o ampermetras – nuosekliai.

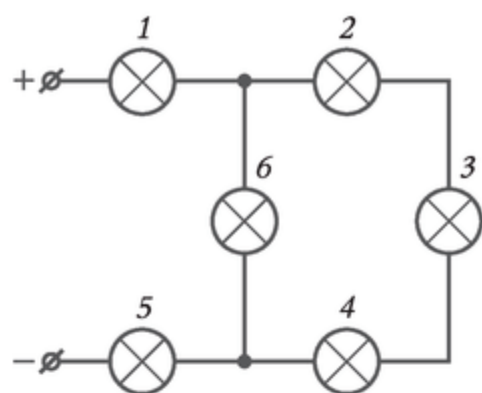
Išnagrinėkime keletą mišriai sujungtų grandinių pavyzdžių.

**1 pavyzdys.** 6.20 paveiksle pateiktoje schemoje varžai  $R_1$  ir  $R_2$  vienas su kitu sujungti nuosekliai, o su varžu  $R_3$  jie sujungti lygiagrečiai. Visų trijų minėtų varžų grupė ( $R_1$ ,  $R_2$  ir  $R_3$ ) nuosekliai sujungta su varžu  $R_4$ .



6.20 pav.

**2 pavyzdys.** 6.21 paveiksle pavaizduota šešių lempučių jungimo schema. 2, 3 ir 4 lemputės tarpusavyje sujungtos nuosekliai, o visos trys su 6 lempute – lygiagrečiai. Šių keturių lempučių grupė (2, 3, 4 ir 6) nuosekliai sujungta su 1 ir 5 lempute.



6.21 pav.

**Uždavinys.** Turime tris varžus, kurių kiekvieno varža  $2\ \Omega$ . Kaip reikia juos sujungti, kad pilnutinė varža būtų  $3\ \Omega$ ?

$$R_1 = R_2 = R_3 = 2\ \Omega$$

$$R = 3\ \Omega$$

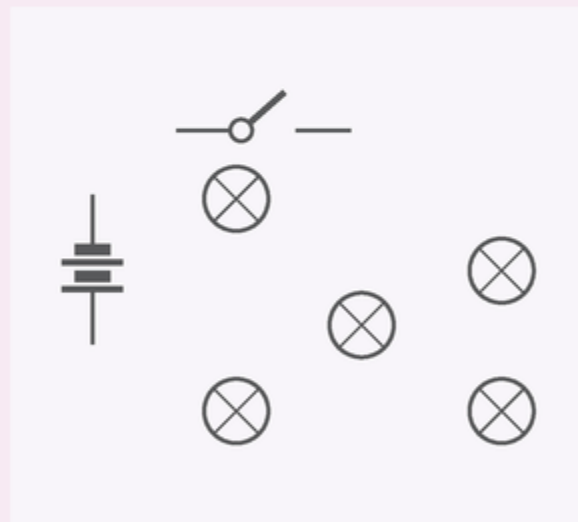
### Sprendimas

Jeigu visus varžus sujungtume nuosekliai, jų pilnutinė varža būtų  $R_{\text{nuosekl}} = 3R_1$ , t. y.  $R_{\text{nuosekl}} = 6\ \Omega$ , o jeigu lygiagrečiai –  $R_{\text{lygiagr}} = \frac{R_1}{3}$ , t. y.  $R_{\text{lygiagr}} = \frac{2}{3}\ \Omega$ . Nė vienas šių būdų netinka, vadinasi, varžus reikia jungti mišriai. Galimi du atvejai: 1) du varžai sujungiami nuosekliai, o trečiasis su jais – lygiagrečiai; 2) du varžai – lygiagrečiai, o trečiasis su jais – nuosekliai. Pirmuoju atveju  $R_{\text{nuosekl}} = 4\ \Omega$  ir  $\frac{1}{R} = \frac{1}{4\ \Omega} + \frac{1}{2\ \Omega}$ , arba  $R = \frac{4}{3}\ \Omega$ , antruoju –  $R_{\text{lygiagr}} = 1\ \Omega$  ir  $R = 1\ \Omega + 2\ \Omega = 3\ \Omega$ .

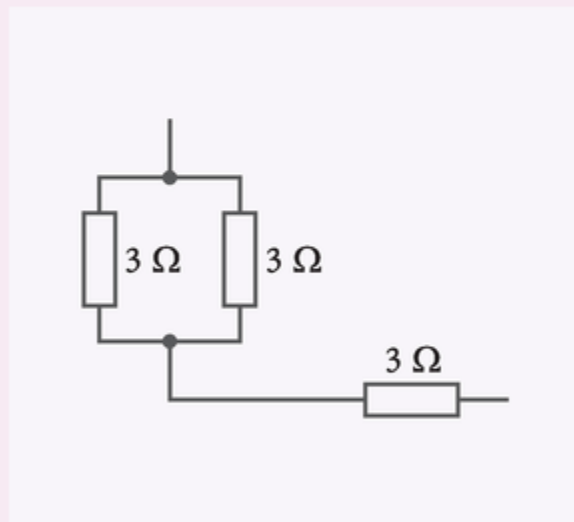
**Atsakymas.** Du varžus reikia sujungti lygiagrečiai, o trečiąjį su jais – nuosekliai.

### Užduotys

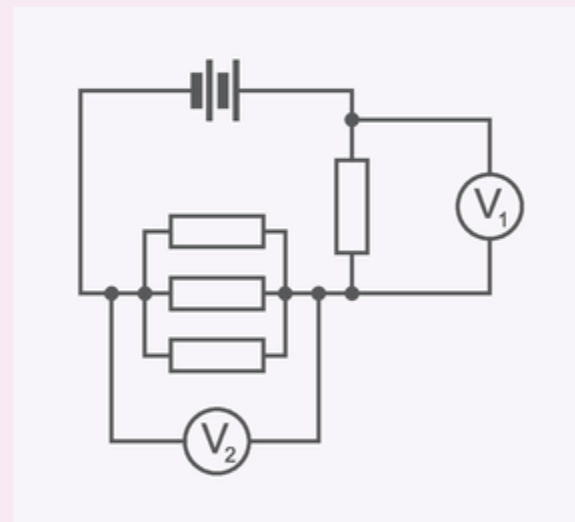
1. Kuriuo paros metu gyvenvietės elektros tinklo varža yra didžiausia: dieną ar vakare? Manykite, kad įjungiamos tik elektros lemputės.
2. Lemputes prie srovės šaltinio vieną kartą prijunkite nuosekliai, kitą kartą – lygiagrečiai (6.22 pav.). Jungiklį įjunkite taip, kad juo iš karto užgesintumėte visas lemputes.
3. Apskaičiuokite grandinės dalies (6.23 pav.) varžą.
6. Turime  $1\ \Omega$ ,  $2\ \Omega$  ir  $3\ \Omega$  varžus. Kokio dydžio varžas galime gauti, įvairiai jungdami šiuos varžus į grandinę?
7. Aštuoni varžai, kurių kiekvieno varža  $20\ \Omega$ , nuosekliai sujungti po du į keturias lygiagrečias grupes. Nubraižykite varžų jungimo schemą ir apskaičiuokite grandinės pilnutinę varžą.



6.22 pav.

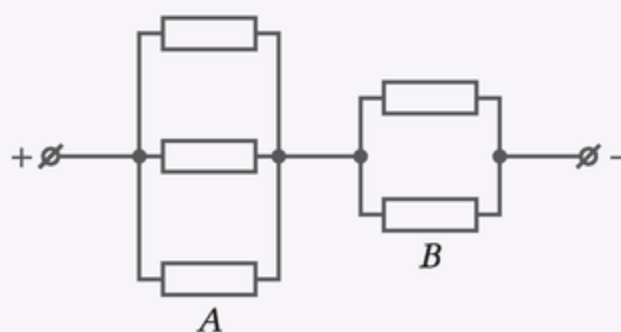


6.23 pav.



6.24 pav.

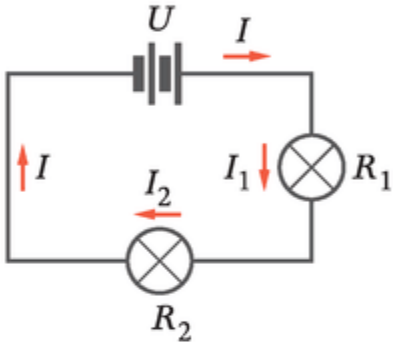
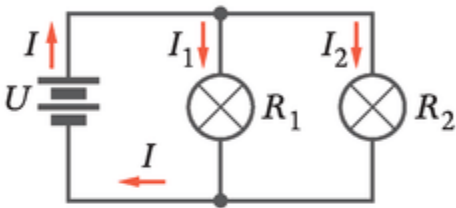
4. Elektrinėje grandinėje, sujungtoje pagal 6.24 paveiksle pavaizduotą schemą, visi varžai yra vienodi. Palyginkite voltmetrų  $V_1$  ir  $V_2$  rodmenis.
5. Grandinėje (6.25 pav.) – vienodi varžai.
  - a) Kurios grandinės dalies – A ar B – yra didesnė varža; įtampa?
  - b) Kuri dalis vartoja stipresnę srovę?



6.25 pav.



## Skyriaus „Laidininkų jungimo būdai“ santrauka

Nuoseklusis jungimas		Nuosekliuoju vadinamas toks elektrinės grandinės jungimas, kai jos dalys jungiamos viena po kitos.	
Lygiagretusis jungimas		Lygiagrečiuoju vadinamas toks laidininkų jungimas, kai visų jų vienas galas sujungiamas viename taške, o kitas galas – kitame. Vienoje grandinėje gali būti derinami abu jungimo būdai: lygiagretusis ir nuoseklusis.	
<b>Jungimas</b>		<b>Nuoseklusis jungimas</b>	<b>Lygiagretusis jungimas</b>
<b>Dydis</b>			
Srovės stipris		 $I = I_1 = I_2 = \dots$ <p>Nuosekliai sujungtų laidininkų grandinės kiekviename dalyje srovės stipris yra vienodas.</p>	 $I = I_1 + I_2 + \dots$ <p>Srovės stipris nešakotinėje grandinės dalyje lygus srovės stiprių lygiagrečiai sujungtuose laidininkuose sumai.</p>
Įtampa		$U = U_1 + U_2 + \dots$ <p>Nuosekliai sujungtų laidininkų grandinės įtampa lygi atskirų dalių įtampų sumai.</p>	$U = U_1 = U_2 = \dots$ <p>Lygiagrečiai sujungtų laidininkų galų ir visos grandinės įtampa yra vienoda.</p>
Varža		$R = R_1 + R_2 + \dots$ <p>Nuosekliai sujungtų laidininkų pilnutinė varža lygi atskirų laidininkų varžų sumai.</p>	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$ <p>Dydis, atvirkščias grandinės pilnutinei varžai, lygus sumai dydžių, atvirkščių atskirų laidininkų varžoms.</p>

# Savikontrolės užduotys

1. Kaip abiem atvejais (6.26 pav.) sujungtos lemputės?

**A** Abiem atvejais sujungtos nuosekliai.

**B** 1 atveju sujungtos nuosekliai, 2 atveju – lygiagrečiai.

**C** Abiem atvejais sujungtos lygiagrečiai.

**D** 1 atveju sujungtos lygiagrečiai, 2 atveju – nuosekliai.

2. Ar lemputės (6.26 pav.) švies, jei laidas taške *A* nutrūks?

3. Grandinę sudaro nuosekliai sujungti srovės šaltinis, lemputė ir ampermetras. Kaip pasikeis grandinės varža ir ampermetro rodmuo, kai prie lemputės lygiagrečiai prijungsime tokią pat antrą lemputę? Nubraižykite atitinkamą elektrinę schemą.

**A** Varža dvigubai padidės, o ampermetro rodmuo perpus sumažės.

**B** Varža perpus sumažės, o ampermetro rodmuo nepasikeis.

**C** Varža perpus sumažės, o ampermetro rodmuo dvigubai padidės.

**D** Varža padidės dvigubai, o ampermetro rodmuo – keturgubai.

4. Tarp schema pavaizduotos elektrinės grandinės (6.27 pav.) taškų *A* ir *B* yra 1 V įtampa. Varžų varža tokia:  $R_1 = R_2 = 2\ \Omega$ ,  $R_3 = 1\ \Omega$ .

a) Kokio stiprio srovė teka grandine?

b) Kokia įtampa yra tarp taškų *B* ir *C*, *C* ir *D*, *A* ir *D*?

c) Apskaičiuokite grandinės pilnutinę varžą.

5. Į grandinę lygiagrečiai įjungti du laidininkai, kurių varža 25  $\Omega$  ir 40  $\Omega$ . Kuriuo iš jų tekės stipresnė srovė? Kodėl?

6. 6.28 paveiksle pavaizduota lempučių  $L_1$  ir  $L_2$  jungimo schema.

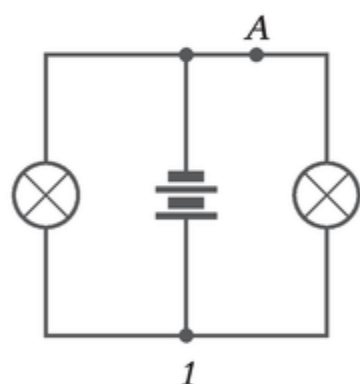
a) Kaip sujungtos abi lemputės?

b) Kaip lemputė  $L_1$  sujungta su ampermetru  $A_1$ , o lemputė  $L_2$  – su ampermetru  $A_2$ ?

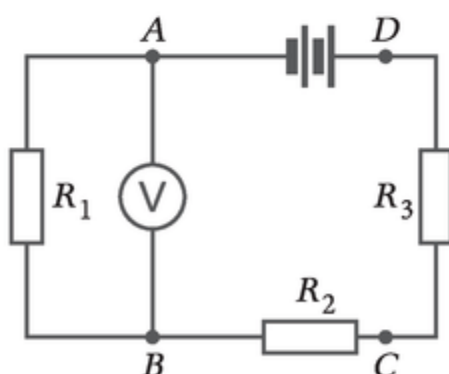
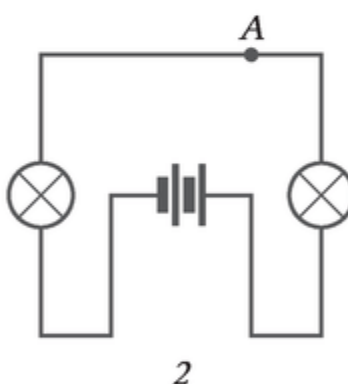
c) Ką rodo ampermetrai  $A_1$  ir  $A_2$ , kai lemputė  $L_1$  teka 0,2 A, o lemputė  $L_2$  – 0,3 A stiprio elektros srovė?

d) Ką tada rodo ampermetras *A*?

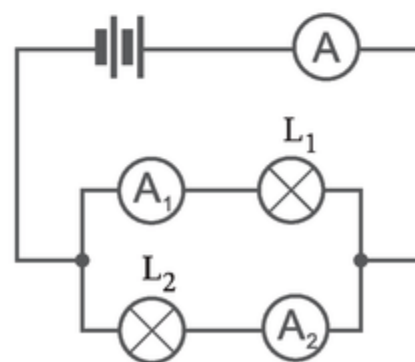
7. Prie srovės šaltinio prijungtos trys lygiagrečiai sujungtos sietyno lemputės. Dvi iš jų įjungiamos vienu jungikliu, o trečia – kitu. Nubraižykite atitinkamą elektrinę schemą.



6.26 pav.



6.27 pav.



6.28 pav.





# E L E K T R A

## 7 Elektros srovės darbas ir galia

Šiame skyriuje susipažinsite su:

- elektros srovės darbo sąvoka;
- elektros srovės galios sąvoka;
- laidininkų įšilimo nuo srovės reiškiniu;
- paprasčiausiais elektriniais prietaisais;
- trumpuoju jungimu;
- saugikliais.



## 7.1. Elektros srovės darbas

### Kaip apskaičiuoti elektros srovės darbą?

Sujungus grandinę, elektronai juda laidais ir elektros energijos imtuvais, o juose elektros energija virsta vidine, šviesos arba mechanine energija. Pavyzdžiui, elektriniuose šildymo prietaisuose elektros energija virsta vidine energija, elektriniame grąžte, kavos malūnėlyje ar skalbyklėje – mechanine ir vidine energija, grotuve – garso ir šilumine energija. Jau iš VIII klasės fizikos kurso žinome, kad, vykstant energijos virsmams, atliekamas darbas. Jo didumas yra vienos rūšies energijos virsmo kita matas. Taigi kaip apskaičiuoti elektros energijos kiekį, kuris virsta kitos rūšies energija, t. y. **elėktros srovės dárba**?

Nagrindėdami 5.2 skyrelį, sužinojome, kad, pratekant grandine krūviui  $Q$ , elektros srovė atlieka darbą  $A = UQ$ . Išmatuoti grandine pratekėjusį krūvį  $Q$  praktiškai sunku. Bet jį galima apskaičiuoti. Tik reikia išmatuoti elektros srovės stiprį  $I$  grandinėje ir jos tekėjimo laiką  $t$ :

$$I = \frac{Q}{t}, \text{ arba } Q = It.$$

Į lygybę  $A = UQ$  vietoj  $Q$  įrašę  $It$ , išvedame elektros srovės darbo formulę:

$$A = UIt.$$

**Elektros srovės darbas grandinės dalyje lygus tos dalies įtampai, padaugintai iš srovės stiprio ir jos tekėjimo laiko.** Ši elektros srovės darbo formulė patogi tuo, kad matavimo prietaisais (ampermetru, voltmetru ir laikrodžiu) galima išmatuoti fizikinius dydžius, nuo kurių tas darbas priklauso.

Mums jau žinomi į elektros srovės darbo formulę įeinančių fizikinių dydžių matavimo vienetai, todėl

$$[A] = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ J}.$$

Taigi

$$1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}.$$



7.1 pav.

Praktikoje elektros srovės darbas matuojamas ne ampermetru, voltmetru ir laikrodžiu, o specialiais prietaisais – **elėktros skaitikliais** (7.1 pav.). Juose sumontuoti visi trys minėti prietaisai. Elektros skaitiklis yra kiekviename bute ar name.

**1 uždavinys.** Elektros srovė, tekėdama kišeninio žibintuvėlio lempute, per 15 min atliko 787,5 kJ darbą. Lemputės gnybtų įtampa 3,5 V. Koks buvo srovės stipris?

$$t = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$$

$$A = 787,5 \text{ J}$$

$$U = 3,5 \text{ V}$$

$$I = ?$$

*Sprendimas*

Iš elektros srovės darbo formulės  $A = UIt$  išreiškiame srovės stiprį  $I$ :

$$I = \frac{A}{Ut}.$$

Įrašome duotas dydžių vertes:

$$I = \frac{787,5 \text{ J}}{3,5 \text{ V} \cdot 900 \text{ s}} = 0,25 \text{ A}.$$

*Atsakymas.*  $I = 0,25 \text{ A}.$



## Laidininkų įšilimas nuo elektros srovės

Elektros srovė, tekėdama laidininkais, juos šildo – didina jų vidinę energiją. Srovei tekant metaliniu laidininku, kryptingai judantys laisvieji elektronai nuolat susiduria su svyruojančiais apie pusiausvyros padėtis jonais ir atiduoda jiems savo energiją. Dėl to elektronų vidutinis greitis mažėja, o jonų didėja. Laidininko temperatūra kyla, taigi elektros srovės energija virsta laidininko vidine energija. Tikslūs bandymai parodė, kad nejudančiuose laidininkuose visas elektros srovės darbas naudojamas jų vidinei energijai didinti. Įkaitęs laidininkas savo vidinę energiją atiduoda aplink jį esantiems kūnams šilumos perdavimo būdu. Pagal atiduotą šilumos kiekį galima spręsti apie elektros srovės darbą.

Šilumos kiekį pažymėkime raide  $Q$ . Remdamiesi energijos tvermės dėsniu, galime užrašyti:

$$Q = A, \quad \text{arba} \quad Q = UIt.$$

Iš Omo dėsnio grandinės daliai išplaukia, kad  $U = IR$ . Taigi

$$Q = I^2 R t. \quad (1)$$

Įrašę į 1 lygybę Omo dėsnio  $I = \frac{U}{R}$  išreikštą  $I$  vertę, gauname:

$$Q = \frac{U^2}{R} t. \quad (2)$$

1 ir 2 formulė rodo, kad laidininke išsiskyrusios šilumos kiekis priklauso nuo laidininko varžos, srovės tekėjimo laiko ir srovės stiprio arba įtampos. 1 formulė patogiau remtis, kai srovė teka keliais nuosekliai sujungtais laidininkais (srovės stipris tokioje grandinėje visur vienodas). 2 formulė patogesnė skaičiuojant, kokį šilumos kiekį išskiria lygiagrečiai sujungti laidininkai (tada jų įtampa vienoda).

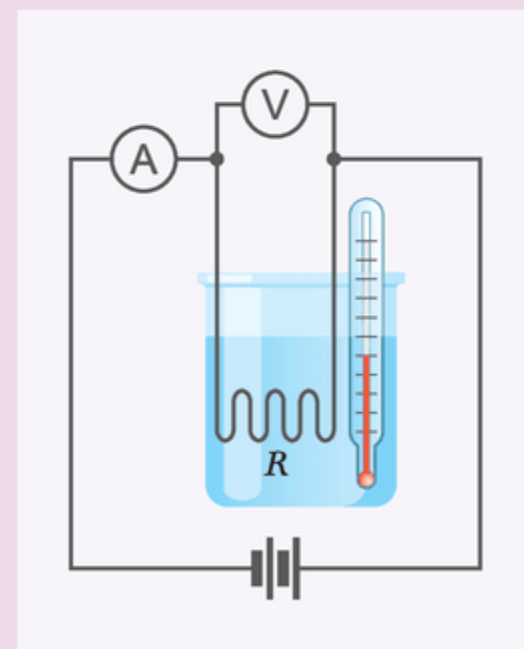
**2 uždavinys.** Į elektrinę grandinę lygiagrečiai įjungti du vienodo ilgio tokios pat medžiagos laidininkai, kurių skerspjūvio plotas  $1 \text{ mm}^2$  ir  $3 \text{ mm}^2$ . Kuris laidininkas išskirs daugiau šilumos? Kiek kartų daugiau?

$$\begin{aligned} S_1 &= 1 \text{ mm}^2 \\ S_2 &= 3 \text{ mm}^2 \\ \hline Q_2 : Q_1 &= ? \end{aligned}$$

### Tai įdomu

✱ Kad laidininku tekančios elektros srovės išskiriamas šilumos kiekis priklauso nuo srovės stiprio kvadrato, laidininko varžos ir srovės tekėjimo laiko, 1841 m. bandymais įrodė anglų fizikas Džeimsas Preskotas Džaulis (*Joule*). Principinė jo atlikto bandymo schema pateikta 7.2 paveiksle. Varžas  $R$  buvo panardintas į tam tikros masės ir temperatūros vandenį. Sujungus grandinę,

ja pradėjo tekėti elektros srovė. Varžas  $R$  įkaito ir šilumą atidavė vandeniui. Prietaisais buvo išmatuota įtampa  $U$ , srovės stipris  $I$  ir srovės tekėjimo laikas  $t$ . Bandymo pabaigoje vėl išmatuota vandens temperatūra. Remdamasis bandymo duomenimis, Džaulis apskaičiavo, kiek šilumos gavo vanduo, ir tą šilumos kiekį palygino su elektros srovės atliktu darbu.



7.2 pav.

### Sprendimas

Lygiagrečiai sujungtų laidininkų gnybtų įtampa yra vienoda, todėl pagal formulę  $Q = \frac{U^2}{R} t$  daugiau šilumos išskirs tas laidininkas, kurio varža mažesnė.

Laidininkų varžą palyginsime remdamiesi išraiška  $R = \rho \frac{l}{S}$ . Abiejų laidininkų savitoji varža ir ilgis yra vienodi, taigi varža  $R$  bus tuo mažes-

nė, kuo didesnis skerspjūvio plotas  $S$ . Kadangi  $S_2 > S_1$ , tai  $R_2 < R_1$ . Vadinasi,  $Q_2 > Q_1$ . Apskaičiuojame šilumos kiekių santykį:

$$Q_2 : Q_1 = R_1 : R_2 = S_2 : S_1;$$

$$Q_2 : Q_1 = 3 \text{ mm}^2 : 1 \text{ mm}^2 = 3.$$

**Atsakymas.** Antrasis laidininkas išskirs 3 kartus daugiau šilumos negu pirmasis.

### Užduotys

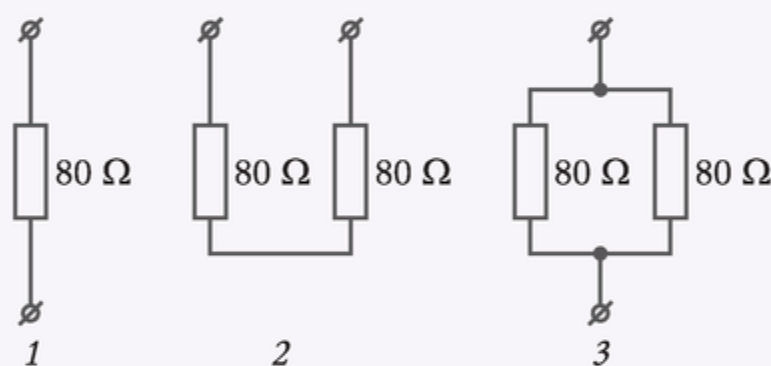
1. Kokį darbą per 3 s atlieka elektros srovė, kurios stipris 1,5 A, kai šaltinio gnybtų įtampa lygi 4 V?
2. Automobilio elektros lempa, kurios gnybtų įtampa 12 V, teka 3,5 A stiprio srovė. Kiek energijos ši lempa suvartoja per 1 min?
3. Grandinės dalimi, kurios įtampa 12 V, pratekėjo 600 C krūvis. Kokį darbą atliko elektros srovė?
4. Remdamiesi laidininke išsiskyrusios šilumos kiekio formule (1), apskaičiuokite trūkstamas dydžių vertes:

Eil. nr.	$I$	$R$	$t$	$Q$
1.	5 A	200 $\Omega$	10 s	
2.	2 A		5 s	2000 J
3.		50 $\Omega$	10 s	2000 J
4.	100 mA	300 $\Omega$		300 J

5. Į tą pačią grandinę nuosekliai įjungtos dvi nichrominės skirtingo ilgio ir skerspjūvio ploto vielos spiralės: viena – ilga ir plona, kita – trumpa ir stora. Kuri iš jų įkais labiau? Atsakymą paaiškinkite.
6. Grandinėje, kuria teka elektros srovė, nuosekliai sujungti du vienodų matmenų (ilgio ir

skerspjūvio ploto) varinis ir geležinis laidininkai. Kuris jų per tą patį laiką įkais labiau?

7. 80  $\Omega$  varžos spiralės įjungtos į 220 V įtampos tinklą 7.3 paveiksle parodytais gnybtais. Kuriuo atveju spiralės išskyrė mažiausiai ir kuriuo – daugiausia šilumos?



7.3 pav.

8. Šviečiančios elektros lemputės kaitinamasis siūlas labai įkaista. Kodėl šalti lemputę prie srovės šaltinio jungiantys laidai?
9. Kodėl negalima į tinklą jungti tuščio elektrinio arbatinio?
- 10\*. Srovės stipris elektros variklio grandinėje 5 A, jo gnybtų įtampa 220 V, variklio naudingumo koeficientas 80 %. Kokį darbą šis variklis atlieka per 1 h?



## 7.2. Elektrinė galia

### Elektrinės galios išraiška

Mechaninė galia vadinamas darbas, atliktas per vienetinį laiką. Ji apskaičiuojama mechaninį darbą dalijant iš laiko, per kurį tas darbas atliktas:

$$N = \frac{A}{t}.$$

Panašiai elektros srovės darbas, atliktas per vienetinį laiką, vadinamas **elektrinė galia**. Ji rodo, kiek elektros energijos per vienetinį laiką paverčiama kitos rūšies energija. Elektrinė galia fizikoje paprastai žymima raide  $P$ . Elektros srovės darbą ( $A = UIt$ ) padaliję iš jo atlikimo trukmės, gauname:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t},$$

arba

$$P = UI. \quad (1)$$

Taigi **elektrinė galia lygi įtampos ir srovės stiprio sandaugai**.

Elektrinių prietaisų: lempų, elektrinių viryklių, lygintuvų, dulkių siurblių ir kt. – galia nurodoma jų pasuose ir ant korpuso.

### Elektrinės galios matavimo vienetas

Kaip jau žinome iš VIII klasės kurso, galios matavimo pagrindinis vienetas yra *vātas* (W). Jį galime nustatyti ir remdamiesi 1 formule:

$$[P] = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}.$$

Vartojami ir stambesni, kartotiniai, galios vienetai: *hektovātas* (hW), *kilovātas* (kW), *megavātas* (MW). Prisiminkime, kaip jie yra susiję su pagrindiniu vienetu – vatu:

$$1 \text{ hW} = 100 \text{ W} = 10^2 \text{ W};$$

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 10^3 \text{ W};$$

$$1 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ W} = 10^6 \text{ W}.$$

Elektrinę galią galima išmatuoti voltmetru ir ampermetru, tačiau praktikoje ji matuojama specialiais prietaisais – **vatmētrais**.

### Kiti elektros srovės darbo matavimo vienetai

Žinodami elektros srovės darbą ir jo atlikimo trukmę, nustatėme, kam lygi elektrinė galia. Galimas ir atvirkščias veiksmas – žinant

#### Tai įdomu

★ Kai kurių elektrinių prietaisų galia:

Kvarcinio laikrodžio	$10^{-6} \text{ W}$
Kišeninio skaičiuotuvo	$4 \cdot 10^{-4} \text{ W}$
Kišeninio žibintuvėlio	1 W
Dviračio lempos	2,4 W
Elektrinio skambučio	15 W
Šaldytuvo „Snaigė“ (vidutinė)	45 W
Apšvietimo lempos	15–200 W
Spalvotojo vaizdo televizoriaus	50–300 W
Elektrinio arbatinio	1,2–2 kW
Skalbyklės	0,8–2,2 kW
Dulkių siurblio	1,3–2,2 kW
Lygintuvo	1,5–2,5 kW
Palyginimui – žaibo	$10^{10} \text{ kW}$

elektrinę galią, apskaičiuojamas elektros atliktas darbas:

$$A = Pt.$$

Iš šios formulės matyti, kad elektros srovės darbo matavimo vienetas gali būti *vātsekundė*:

$$[A] = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ J}.$$

Praktikoje dažniau vartojami stambesni už vatsekundę elektros energijos matavimo vienetai: *vātvalandė* ( $\text{W} \cdot \text{h}$ ), *hektovātvalandė* ( $\text{hW} \cdot \text{h}$ ), *kilovātvalandė* ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ ).

$$1 \text{ W} \cdot \text{h} = 1 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ W} \cdot \text{s} = 3600 \text{ J};$$

$$1 \text{ hW} \cdot \text{h} = 100 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 360\,000 \text{ W} \cdot \text{s} = 360\,000 \text{ J};$$

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ W} \cdot \text{s} = 3\,600\,000 \text{ J}.$$

Labiausiai paplitęs iš jų yra kilovatvalandė. Elektros skaitikliai, skaičiuojantys mūsų butuose suvartojamą elektros energiją, sugraduoti būtent kilovatvalandėmis. Energetikos įmonėms mokama už kilovatvalandes (ne už kilovatus, kaip kartais klaidingai sakoma).

### Užduotys

1. Išreikškite elektrinės galios vienetais, nurodytais laužtiniuose skliaustuose:

a)  $250 \text{ W}$  [ $\text{kW}$ ];      b)  $5000 \text{ W}$  [ $\text{MW}$ ];  
c)  $8 \text{ kW}$  [ $\text{W}$ ];      d)  $3 \text{ MW}$  [ $\text{W}$ ].

2. Išreikškite elektros srovės darbo vienetais, nurodytais laužtiniuose skliaustuose:

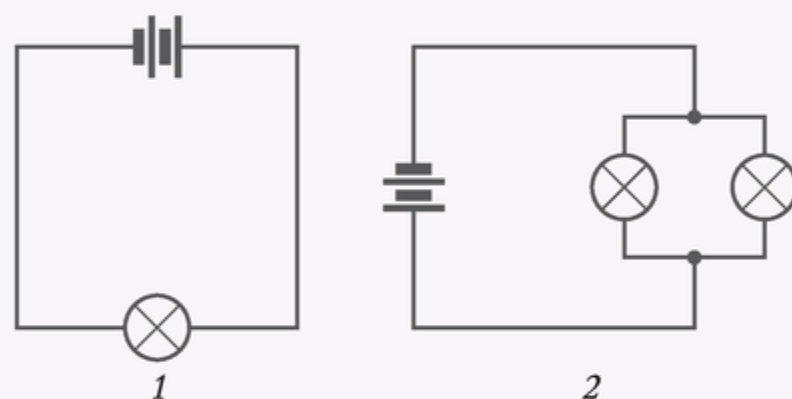
a)  $2 \text{ kW} \cdot \text{h}$  [ $\text{J}$ ];      b)  $10 \text{ W} \cdot \text{h}$  [ $\text{kJ}$ ];  
c)  $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$  [ $\text{J}$ ];      d)  $5 \text{ kW} \cdot \text{h}$  [ $\text{W} \cdot \text{s}$ ].

3. Remdamiesi elektrinės galios formule, apskaičiuokite trūkstamas dydžių vertes:

Eil. nr.	$U$	$I$	$P$
1.	12 V	2 A	
2.	220 V		60 W
3.		10 mA	1,1 W
4.	6 kV	15 A	

4. Duotos dvi elektrinės grandinės. Vieną iš jų sudaro 12 V įtampos šaltinis ir lemputė, kitą – toks pat šaltinis ir dvi tokios pat galios nuosekliai su juo sujungtos lemputės. Kurioje grandinėje ir kiek kartų kiekviena lemputė tekančios elektros srovės galia yra didesnė?

5. 7.4 paveiksle pavaizduotos dviejų grandinių schemas, kuriose įjungtos vienodos galios lemputės. Kurioje grandinėje ir kiek kartų



7.4 pav.

kiekviena lemputė tekančios elektros srovės galia yra didesnė?

6. 110 W galios lemputė įjungta į 220 V įtampos tinklą. Kokio stiprio srovė teka lemputė?

7. Kokio dydžio elektros krūvis turi pratekėti lemputė, kad būtų atliktas  $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$  darbas? Tinklo įtampa lygi 220 V.

8. Jorūnė rytą skubėdama į mokyklą pamiršo vonioje išjungti šviesą ir pastebėjo tai tik grįžusi. Trys 30 W galios lemputės be reikalo švietė 7 h. Apskaičiuokite, kiek elektros energijos buvo išiekvota veltui. Kiek už ją teks sumokėti?

9. 60 W ir 100 W galios lemputės įjungtos į vienodos įtampos tinklą. Kurios lemputės didesnė varža?



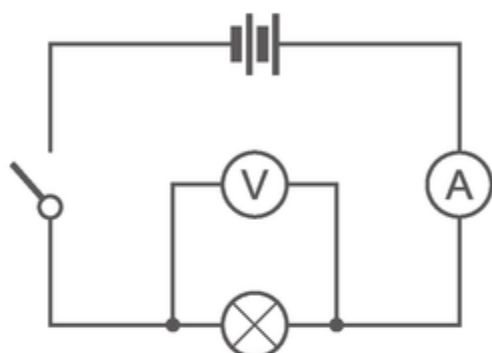
## 7-asis laboratorinis darbas

### Elektros lemputė tekančios srovės galios ir darbo apskaičiavimas

*Priemonės:* 1) kišeninio žibintuvėlio baterija; 2) žemos įtampos lemputė su stoveliu; 3) ampermetras; 4) voltmetro; 5) laikrodis arba sekundmatis; 6) jungiklis; 7) jungiamieji laidai.

#### Darbo eiga

1. Remdamiesi 7.5 paveiksle pavaizduota schema, sujunkite elektrinę grandinę.



7.5 pav.

2. Pagal laikrodį nustatykite srovės tekėjimo pradžią ir tą laiko vertę įrašykite lentelėje, nusibraižytoje sąsiuvinyje prieš pradedant darbą.

3. Užsirašykite voltmetro ir ampermetro rodmenis.

4. Apskaičiuokite lemputė tekančios srovės galią ir palyginkite ją su lemputėje pažymėta galia. Padarykite išvadą.

5. Išjunkite grandinę ir užsirašykite, ką tuo metu rodo laikrodis.

6. Apskaičiuokite, kiek laiko tekėjo elektros srovė (jei naudojotės sekundmačiu, užsirašykite jo rodmenį).

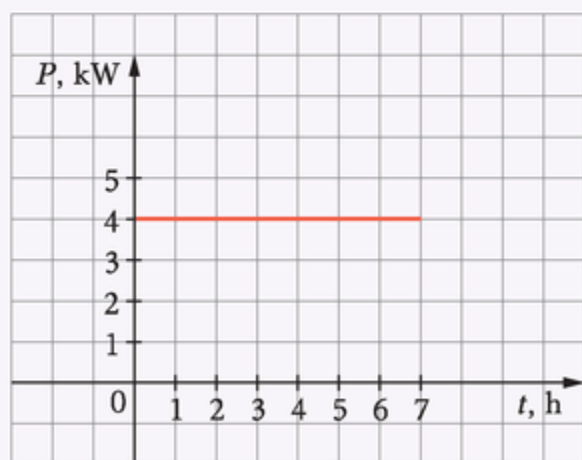
7. Apskaičiuokite lemputė pratekėjusios srovės atliktą darbą.

8. Padarykite išvadas apie darbui atlikti suvartotą energiją.

Srovės tekėjimo pradžia	Voltmetro rodmuo, V	Ampermetro rodmuo, A	Apskaičiuota srovės galia, W	Srovės tekėjimo pabaiga	Srovės tekėjimo trukmė, s	Srovės atliktas darbas, J

#### Užduotys

1. Pagal 7.6 paveiksle pavaizduotą grafiką apskaičiuokite, kokį darbą elektros srovė atliko per 2 h.



7.6 pav.

2. Viena iš dviejų vienodos galios lempučių apskaičiuota 110 V, kita – 220 V įtampai. Ar vienodo stiprio srovė tekės lemputėmis, įjungtomis į atitinkamos įtampos tinklą? Atsakymą pagrįskite.

3. 12  $\Omega$  varžos laidininkas 10 min buvo įjungtas į 120 V įtampos tinklą. Kiek padidėjo laidininko vidinė energija? Tarkite, kad aplinka nebuvo šildoma.

4\*. Elektriniame arbatinuke 2 litrai 15 °C temperatūros vandens užverda per 7 min. Tinklo įtampa lygi 220 V. Kokio stiprio elektros srovė teka arbatinuko kaitinamųjų elementu? Nuostolių nepaisykite.



## 7.3. Paprasčiausi elektriniai prietaisai

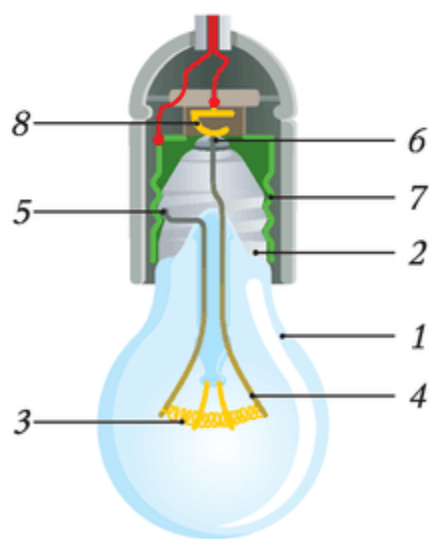
Elektros srovės šiluminis veikimas (laidininko įšilimas nuo juo tekančios elektros srovės) taikomas elektros energijai paversti šviesos energija kaitinamosiose elektros lempose ir šilumą įvairiuose šildymo prietaisuose: lygintuvuose, lituokliuose, arbatiniuose, viryklėse, suvirinimo aparatuose, grūdų džiovintuvuose, inkubatoriuose ir pan. Visų šių prietaisų svarbiausia dalis yra kaitinamasis elementas, turintis didelę varžą.

Jos reikia, kad elemente išsiskirtų kuo daugiau šilumos ( $Q = I^2 R t$ ). Dėl to elementai daromi ploni, susukami spirale, be to, jiems parenkamos medžiagos, kurių didelė savitoji varža ( $R = \rho \frac{l}{S}$ ). Kaitinamiesiems elementams paprastai naudojamas nichromas – nikelio ir chromo lydinys, pakeičiantis iki 1200 °C kaitrą.

Susipažinkime su keletu paprasčiausių buityje naudojamų elektrinių prietaisų.

### Kaitinamoji lempa

Tai plačiai naudojamas elektrinis šviesos šaltinis, elektros energiją paverčiantis šviesos energija. **Kaitinamąją lempą** (7.7 pav.) sudaro stiklinė kolba 1 ir lempos lizdas 2. Kolboje yra įtaisytas svarbiausias lempos elementas – plona volframinė didelės varžos spiralė 3, vadinama kaitinamuoju siūlu. Lempą įjungus į tinklą, siūlas įkaista iki 3000 °C (volframas sunkiai lydosi, jo lydymosi temperatūra yra 3387 °C) ir ima ryškiai švytėti. Kad volframas nesioksiduotų ir spiralė neperdegtų, iš kolbos išsiurbtas oras. Vis dėlto ir vakuume įkaitęs volframas palyginti greitai garuoja, spiralė plonėja ir perdega. Norint sulėtinti volframo garavimą, kai kurios lempos pripildomos azoto arba inertinių dujų, trukdančių volframo dalelėms išlėkti iš spiralės. Dėl to lempos veikimo trukmė pailgėja.



7.7 pav.

Volframinis siūlas pritvirtintas prie dviejų stikliniame laikiklyje įlydytų storesnių vielučių 4. Viena vielutė prilituota prie metalinio lempos lizdo sriegių 5, kita – prie izoliuoto nuo sriegių lempos lizdo pagrindo 6. Kaitinamoji lempa įsukama į lizdą su sriegiais 7, prie kurių prijungtas vienas elektros tinklo laidas. Kitas laidas pritvirtintas prie vidinėje lizdo dalyje esančio spyruoklinio kontakto 8. Tvirtai įsukus lempą ir įjungus jungiklį, susidaro uždaroji grandinė. Ja ima tekėti elektros srovė ir volframinis lempos siūlas įkaista iki švytėjimo.

Ant lempos lizdo arba kolbos nurodyta maitinimo įtampa voltais ir galia vatais. Kaitinamųjų lempų naudingumo koeficientas nedidelis – tik apie 5–7 % elektros energijos paverčiama šviesos energija. Bet kurios paskirties lempa normaliosiomis sąlygomis be perstojo gali degti apie 1000 h, t. y. apie 41 parą. Pastaruoju metu neekonomiškos kaitinamosios lempos pamažu keičiamos modernesnėmis ir taupesnėmis liuminescencinėmis lempomis (7.8 pav.). Tai skatina ir Europos Sąjungos priimta direktyva nuo 2009 m. rugsėjo 1 d. iki 2012 m. rugsėjo 1 d. išimti iš prekybos visas kaitinamąsias lempas. Nuo 2009 m. rugsėjo 1 d. jau nebeprekiuojama tokiomis 100 W lempomis. Naujosios energiją taupančios lempos veikia 5–12 kartų ilgiau ir suvartoja 8 kartus mažiau energijos negu kaiti-



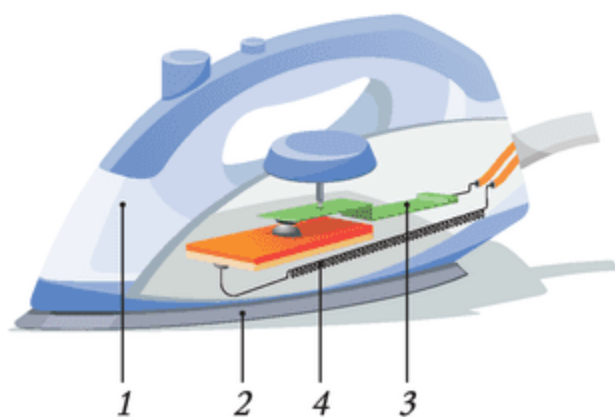


7.8 pav.

namosios lempos. Šios lempos priskiriamos prie taupiausių elektrinių prietaisų, nes net 80–90 % elektros energijos paverčia šviesa ir beveik neišskiria šilumos.

## Lygintuvas

Vienas iš buityje plačiai naudojamų elektrinių prietaisų yra **lygintuvas** (7.9 pav.). Jį sudaro korpusas 1, lygus metalinis padas 2 ir lyginimo temperatūros reguliatorius 3. Pado vidinės pusės grioveliuose įtaisytas kaitinamasis elementas 4.



7.9 pav.

Elektros srovė kaitina elementą, o šis – lygintuvo padą.

Kaitinamojo elemento grandinėje yra lyginimo temperatūros reguliatorius – bimetalinė plokštelė (prisiminkite, ką apie ją sužinojote VII klasėje, nagrinėdami kūnų šiluminio plėtimosi taikymą). Kai elementas įkaista iki reikiamos temperatūros, plokštelė išlinksta ir nutraukia elektrinę grandinę. Vėsdama plokštelė po tam tikro laiko išsitiesia ir sujungia grandinę – lygintuvas vėl ima kaisti.

## Elektrinis lituoklis

Montuodami elektrines grandines, radijo imtuvų, televizorių meistras atskiras grandinės dalis, detales dažnai jungia lituodami. Tam tikslui jie naudoja prietaisą, vadinamą **elektriniu lituokliu** (7.10 pav.). Jį sudaro varinis strypas, apgaubtas žėručio sluoksnio ir apvyniotas nichromine viela su metaliniu apsauginiu apdangalu. Kiauravidurėje rankenoje yra laidai, kuriais į lituoklį atiteka elektros srovė. Ji įkaitina varinio strypo antgalį, o juo įkaitinama lituojama sandūra ir lydmetalas.



7.10 pav.



### Tai įdomu

✳ Pirmąją praktiškai naudojamą kaitinamąją elektros lempą 1854 m. Niujorko išrado vokiečių laikrodininkas Heinrichas Giobelis (*Göbel*, 1818–1893). Butelyje, iš kurio išsiurbtas oras, Giobelis privertė šviesti siūlelį, padarytą iš suanglėjusio bambuko pluošto. 1879 m. JAV elektrotechnikas Tomas Alva Edisonas (*Edison*, 1847–1931) šią lempą dar patobulino panaudodamas anglinį siūlą. Pirmoji Edisono elektros lempa degė tik tris dienas.

✳ 1898–1908 m. elektros lempos siūlui bandyta naudoti osmį, o 1909 m. – volframą. Nuo šių metalų pavadinimo gavo vardą

ir garsioji vokiečių firma „Osram“, gaminanti elektros lempas. 1913 m. pasirodė azoto ir inertinių dujų pripildytos vadinamosios dujošvytės lempos.

✳ 40 W galios elektros lempos spiralė, kurios ilgis 5,5 cm, yra susukta iš 70 cm ilgio vielos.

✳ Dabar kasmet pagaminama apie 7 milijardus įvairių kaitinamųjų elektros lempų, kurios bendroje elektrinių prietaisų klasifikacijos sistemoje priskiriamos prie pačių netaupiausių energijos prietaisų. Kadangi apšvietimui tenka apie 15–25 % buityje naudojamos elektros energijos, tai išlaidos apšvietimui

sudaro nemažą dalį. Ją turėtų gerokai sumažinti Europos Sąjungos direktyva per trejus metus kaitinamąsias lempas pakeisti energiją taupančiosiomis. Manoma, kad tai padės sutaupyti tiek elektros energijos, kiek jos per metus suvartoja 11 mln. vidutinių statistinių Europos Sąjungos namų ūkių arba pagamina dešimt 500 MW galios jėgainių.

✳ Pradėjus taikyti elektrą, kilo problemų su lygintuvų naudojimu – nebuvo lizdų. Tekdavo išsukti elektros lempuotę ir į jos lizdą įsukti lygintuvo laidą su specialiu antgaliu.

### Užduotys

1. Kokiomis sąlygomis labiausiai reiškiasi šiluminis elektros srovės veikimas? Kur jis taikomas? Pateikite keletą pavyzdžių.
2. Dažnai sakome: „užsidegė lempa“, „lempa dega“. Ar iš tikrųjų lempos siūlas dega?
3. Kaip patikrinti, ar lempos butė įjungtos į elektros tinklą lygiagrečiai?
4. Pasižiūrėję į užrašus ant namuose esančios elektros lempos, apskaičiuokite jos varžą ir vartojamos srovės stiprį.
5. Kodėl elektrinės viryklės spiralė dažniausiai perdega ten, kur sujungti jau kartą nutrūkę jos galai?
6. Kodėl tose elektrinių grandinių vietose, kur prasti kontaktai, išsiskiria daug šilumos?
7. Kaip pasikeitė elektrinės viryklės galia, kai buvo šiek tiek sutrumpinta perdegusi viryklės spiralė?
8. Kodėl vandens šildymo spiralę pirma reikia įdėti į indą su vandeniu ir tik paskui jungti į tinklą?
9. Elektrinio lituoklio varža  $500\ \Omega$ , įtampa  $220\ \text{V}$ . Kokio stiprio srovė teka lituokliu? Kokia yra lituoklio galia?
10. Kiek šilumos per 10 min išskirs  $25\ \Omega$  varžos elektros lempos spiralė, kuria teka  $0,2\ \text{A}$  stiprio srovė?
- 11\*. Virduolyje, kurio  $\eta = 75\%$  ( $U = 220\ \text{V}$ ,  $I = 5\ \text{A}$ ), užvirinamas vanduo. Kiek vandens išgaruos, jei jis virs 2,5 min?



## 7.4. Saugikliai

### Trumpasis jungimas

Elektrinė grandinė apskaičiuota tam tikram didžiausiam srovės stipriui. Jeigu ją pradeda tekėti stipresnė už leidžiamąją srovę, jungiamieji laidai gali labai smarkiai įkaisti ir užsidegti, o prietaisai sugesti nepataisomai. Srovės stipris grandinėje gali padidėti, kai susiliečia neizoliuoti jos laidai, kai grandinė taisoma neišjungta iš tinklo, kai į ją įjungiami mažos varžos imtuvai arba imtuvai, kuriems maitinti reikia stipresnės srovės, t. y. kai grandinė perkraunama. Visais šiais atvejais sakoma, kad įvyko **trumpasis jungimas**. **Trumpuoju jungimu vadinamas šaltinio polių sujungimas laidininku, kurio**

**varža yra maža, palyginti su kitų grandinės dalių varža.**

Norint išvengti neigiamų srovės sustiprėjimo padarinių, į grandinę nuosekliai jungiami specialūs įtaisai – **saugikliai**, kurie tuoj pat išjungia elektrinę grandinę, vos tik srovės stipris joje pasidaro didesnis už leidžiamąjį.

Saugikliai būna įvairių konstrukcijų. Jie įrengiami kiekvieno namo arba buto elektros tinkle, daugelyje elektrinių prietaisų (radijo imtuvuose, televizoriuose ir kt.), automobiliuose.

Aptarkime kai kurias buityje naudojamų saugiklių rūšis.

### Lydieji saugikliai

Paprasčiausi yra saugikliai su lydžiu laidininku. Todėl jie vadinami **lydžiaisiais saugikliais**. Svarbiausia tokio saugiklio dalis yra plona labai lydi didelės savitosios varžos metalo, paprastai švino, vielutė, įtaisyta stikliniame vamzdelyje su metaliniais antgaliais (7.11 pav.). Vamzdelis įstatomas į specialų laikiklį ir sudaro saugomos elektrinio prietaiso grandinės dalį. Kai grandinė, taigi ir vielutė, pradeda tekėti stipresnė srovė, vielutė išsilydo (sakome „saugiklis perdega“) ir išjungia grandinę. Perdegusį lydujį saugiklį reikia pakeisti nauju.



7.11 pav.

#### Tai įdomu

★ Kiekvieno automobilio elektros sistemą nuo gedimų ar kabelių užsidegimo saugo viena arba kelios lydžiųjų saugiklių dėžutės. Automobilyje jos gali būti įtaisomos skirtingose vietose: po kapotu, salone po daiktadėže ir kt. Įvairūs prietaisai, pavyzdžiui, žibintai, valytuvai ir pan., gali turėti atskirus saugiklius. Skirtingo stiprio srovei apskaičiuoti automobilio saugikliai esti skirtingų spalvų, an-tai 5 A – rudas, 10 A – raudonas, 15 A – mėlynas ir t. t. (7.12 pav.).



7.12 pav.

## Automatiniai saugikliai


Ant specialaus skirstomojo skydo, įrengto prie laidų įvado į namą ar butą, išdėstomi **automatiniai saugikliai** (7.13 pav.). Į buto elektros tinklą jie jungiami nuosekliai. Svarbiausia automatinių saugiklių detalė yra bimetalinė plokštelė. Kai grandinė, vadinasi, ir plokštele, pradeda tekėti per stipri srovė, pavyzdžiui, kai į elektros tinklą įjungiamas didelės galios elektros prietaisas arba vienu metu įjungiamas daug prietaisų, saugiklio plokštelė išlinksta ir nutraukia grandinę, neleidama sugesti prietaisams ir užsiliepsnoti laidams. Pašalinus trumpąjį jungimą arba grandinės perkrovą, automatinį saugiklį galima vėl naudoti.

Automatiniai saugikliai būna numatyti tam tikro stiprio srovei, pavyzdžiui, 6 A, 10 A, 16 A, 20 A, 26 A. Individualiuose namuose ir butuose



7.13 pav.

dažniausiai naudojami automatiniai saugikliai, apskaičiuoti 16 A srovei. Jie optimaliai apsaugo buitinius prietaisus ir laidus.

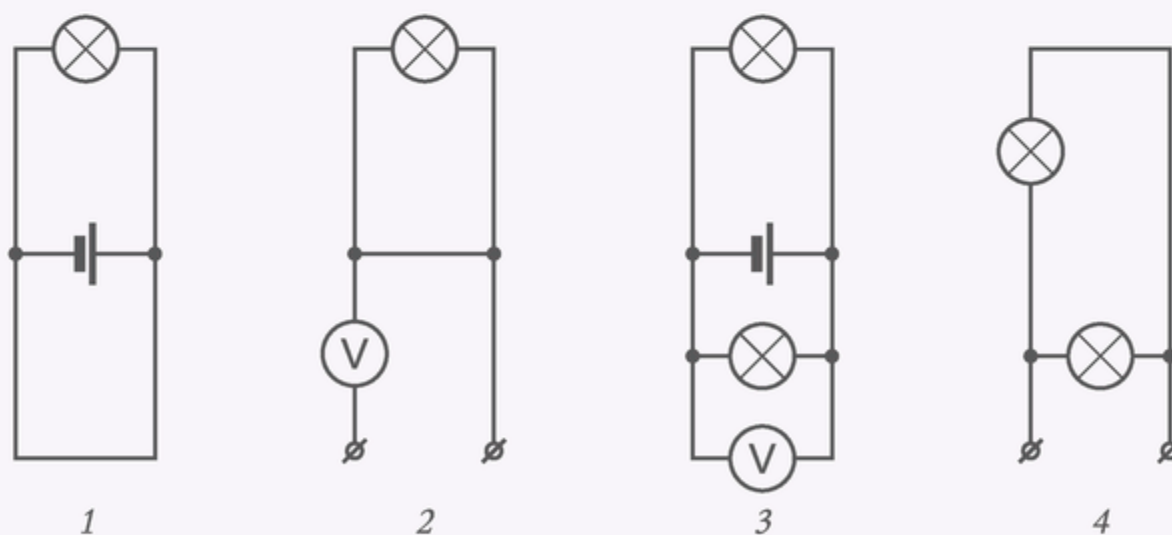
Elektrinėse schemose saugikliai žymimi sutartiniu ženklu  (žr. lentelę p. 74 ir 6.12 paveikslą p. 108).

### Užduotys

1. Kas atsitinka laidams, kai grandinėje labai sustiprėja elektros srovė?
2. Paaiškinkite, kam elektrinėje grandinėje reikalingi saugikliai.
3. Kodėl lydziuosiuose saugikliuose dažniausiai naudojama švininė vielutė? Kodėl perdegusios vielutės negalima pakeisti vinimi, stora viela?
4. Vienas automatinis saugiklis apskaičiuotas 10 A, kitas – 16 A srovei. Kurį iš jų turėtume

įtaisyti buto elektros tinkle, kad vienu metu galėtume įjungti visus bute esančius elektrinius prietaisus, kurių didžiausia bendra vartojama galia 3,2 kW?

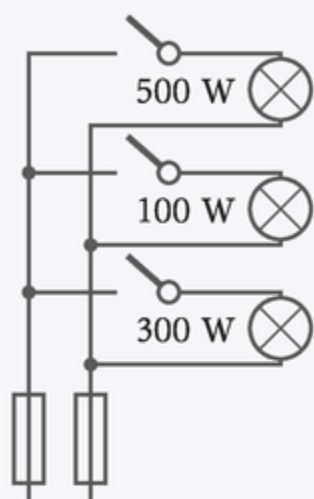
5. Kaip saugikliai jungiami į grandinę: nuosekliai ar lygiagrečiai? Atsakymą pagrįskite.
6. Kuriose elektrinių grandinių schemose (7.14 pav.) padaryta klaidų, galinčių sukelti trumpąjį jungimą?



7.14 pav.

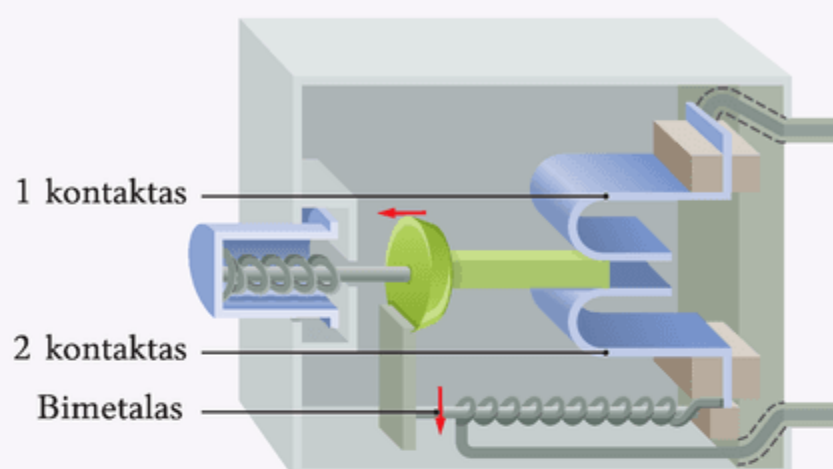


7. Prie 220 V įtampos elektros tinklo įvado yra 3 A srovei numatyti saugikliai. Tinklas tvarkingas, trumpojo jungimo nebuvo. Tačiau saugikliai perdegė. Kurias lempas įjungus taip atsitiko (7.15 pav.)?



7.15 pav.

8. 7.16 paveiksle pavaizduota automatinio saugiklio struktūrinė schema. Paaiškinkite jos veikimo principą.



7.16 pav.

## 7.5. Elektros srovės poveikis žmogaus organizmui

„Molėtų r. Jōniškio miestelyje žaibas namuose nutrenkė mokytoją.“ „Maudydamasis vonioje, žiūrėjo televizorių ir nuo elektros srovės žuvo vilnietis.“ Tokie pranešimai ne taip jau retai pasirodo spaudoje. Ką reikia žinoti apie elektros srovės poveikį žmogui?

Žmogaus kūnas yra elektros laidininkas, nors elektros srovę praleidžia daug blogiau nei metalai. Prisilietęs prie neizoliuotų laidų ar prietaisų,

kurių izoliacija pažeista, žmogus atsiduria elektrinėje grandinėje ir juo ima tekėti elektros srovė. Jos poveikis priklauso nuo įtampos ir srovės stiprio, srovės tekėjimo trukmės, žmogaus odos būsenos, daiktų, kuriuos liečia žmogus.

Buityje įprastų galvaninių elementų ir jų baterijų įtampa (1,5 V, 4,5 V), taip pat įtampa mokyklos fizikos kabineto darbo vietose (36–42 V) žmogui pavojaus nekelia. Tačiau aukštesnė negu

Srovės stipris	Poveikis žmogui, kai srovė teka 1 s (įtampa lygi 220 V)
Iki 0,5 mA	Tokios srovės žmogus nejaučia, ji nekenksminga.
0,5 mA–20 mA	Žmogus pradeda jausti 0,5–1 mA srovę. Tekant apie 3 mA stiprio srovei, ima „niežėti“ delnai ir riešai. Srovei stiprėjant, atsiranda skausmingi traukuliai. Tiesioginio žalingo poveikio nėra.
20 mA–50 mA	Traukuliai labai sustiprėja. Rankose laikomas sugedęs prietaisas prie jų tarsi prilimpa. Stiprėjant srovei, sutrinka širdies veikla ir žmogus netenka sąmonės.
Didesnis kaip 50 mA	Žmogus gali mirti. Sutrinka širdies raumenų veikla, smegenys nebeaprūpinamos deguonimi. Dėl to netenkama sąmonės, sustoja kvėpavimas.



42 V įtampa, kaip antai 220 V įtampa mūsų butų elektros lizduose, jau yra labai pavojinga, o itin aukšta įtampa elektros perdavimo linijose (aukštesnė kaip 1000 V) – netgi mirtina. Kuo ilgiau žmogaus kūnu teka elektros srovė, tuo labiau jis sužalojamas.

Pagal Omo dėsnį srovės stipris grandinėje priklauso nuo laidininko varžos: kuo ji mažesnė, tuo stipresnė srovė. Žmogaus kūno varža yra nuo kelių šimtų iki tūkstančių omų (0,6–100 kΩ). Tai priklauso nuo žmogaus organizmo savybių ir būsenos, odos storio bei sausumo ir pan. Antai varža, išmatuota tarp viršutinių ir apatinių galūnių, siekia vidutiniškai tokias vertes:

ranka–ranka	apie 650 Ω,
ranka–koja	apie 1300 Ω,
ranka–kojos	apie 975 Ω,
rankos–kojos	apie 650 Ω.

Kai oda sausa ir stora, žmogaus kūno varža yra didesnė, kai drėgna ir plona, – mažesnė. Todėl drėgnomis rankomis geriau neliesti net ir 12 V įtampos elementų gnybtų. Daug kas priklauso ir nuo odos lietimosi su elektrine grandine ploto. Įvykus nelaimingam atsitikimui, sąlyčio vietoje oda apdega, dėl to varža sumažėja.

Elektros srovės sukeltas organizmo pažeidimas priklauso nuo srovės tekėjimo kelio. Pavojingiausia, kai ji teka per širdį ir plaučius, t. y. nuo rankos prie rankos ar nuo rankos prie kojos. Tada pasekmės būna daug liūdnės, negu srovei pratekėjus vienos rankos raumenimis ar jungiamaisiais audiniais.

Kai žmogus patenka į elektrinę grandinę, svarbu, kokia yra batų ir grindų varža. 220 V ir aukštesnė įtampa ypač pavojinga stovint basam rūsyje ant betoninių grindų. Mažiau pavojinga yra stovėti ant medinių grindų. Labai pavojinga nusideginti ir

elektros kibirkštimi – į odą patenka išlydyto kontaktų metalo, todėl žaizdos sunkiai gyja.

Taigi aišku, kad elektra yra pavojinga ir su ja reikia elgtis labai atsargiai. Siūlome įsidėmėti keletą taisyklių, kurios padės išvengti nelaimių:

- griaudėjant perkūnijai, niekada nestovėkite po aukštais medžiais, nevažiuokite dviračiu, nesimaudykite upėje ar ežere, neplaukiokite valtimi, venkite iškilių vietų, uždarykite buto langus;
- nuo žaibo galite apsisaugoti automobilyje, žemoje vietovėje;
- norėdami išgelbėti į elektrinę grandinę patekusį žmogų, jo nelieskite, pirmiausia jungikliu ar saugikliais išjunkite grandinę;
- nelieskite neizoliuotų, nukarusių laidų (apie juos nedelsdami praneškite suaugusiems);
- nejunkite į tinklą elektrinių prietaisų, jei pažeista jungiamųjų laidų izoliacija;
- netraukite prietaisų kištuko iš elektros lizdo, laikydami už laido;
- nekaišiuokite į elektros lizdus pašalinių daiktų;
- jei bute yra mažų vaikų, lizdus uždenkite apsauginiais skydeliais;
- neplaukite vandeniu ir nelieskite šlapiomis rankomis elektrinio prietaiso, įjungto į elektros tinklą;
- valydami bute elektros lemputes ar šviestuvus, išjunkite saugiklius;
- viena ranka laikydami įjungtą elektrinį prietaisą, kita tuo pat metu nelieskite vandentiekio čiaupo, centrinio šildymo sistemos vamzdžių;
- vonioje nedžiovinkite plaukų elektriniu džiovintuvu, nejunkite televizoriaus ar radijo imtuvo;
- nesinaudokite elektriniais prietaisais, stovėdami basi ant plikos žemės arba cementinių grindų;
- taisyti elektrinius prietaisus patikėkite tik specialistams.


### Užduotys

1. Nuo ko priklauso elektros srovės poveikis žmogui?
2. Kodėl kai kurių elektrinių prietaisų kištukų kontaktų dalis yra padengta plastikų?
3. Paaiškinkite, kodėl sausos odos varža didesnė negu šlapios.

4. Kodėl elektros lizdų negalima įrengti dušuose, vonios kambaryje?
5. Ommetru išmatuokite žmogaus kūno varžą.
6. Kokio stiprio elektros srovė tekėtų žmogaus organizmu, jei jis atsidurtų 220 V įtampos grandinėje? Žmogaus varža lygi 660 Ω.



## Skyriaus „Elektros srovės darbas ir galia“ santrauka

<p>Elektros srovės darbas</p> $A = UIt$ $A = Pt$ $[A] = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$	<p>Elektros srovės darbas apibūdina elektros energijos kiekį, kuris virsta kitos rūšies energija: vidine, mechanine, šviesos, garso ir kt. Elektros srovės darbas grandinės dalyje lygus tos dalies galų įtampai, padaugintai iš srovės stiprio ir jos tekėjimo trukmės.</p>
<p>Laidininko išskiriamos šilumos kiekis</p> $Q = I^2 R t \quad (1)$ $Q = \frac{U^2}{R} t \quad (2)$ $[Q] = 1 \text{ J}$	<p>Laidininko, kuriuo teka elektros srovė, išskiriamos šilumos kiekis priklauso nuo jo varžos, srovės stiprio, įtampos ir srovės tekėjimo laiko. 1 formulę patogiau taikyti apskaičiuojant šilumos kiekį, išsiskyrusį nuosekliosios grandinės dalyje (nes srovės stipris visoje grandinėje yra vienodas), 2 formulę – šilumos kiekį, išsiskyrusį lygiagrečiosios grandinės dalyje (nes vienoda įtampa).</p>
<p>Elektrinė galia</p> $P = UI$ $[P] = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 1 \text{ W} = 1 \text{ J/s.}$	<p>Elektrinė galia apibūdina darbą, kurį elektros srovė atlieka per vienetinį laiką. Elektrinė galia lygi įtampos ir srovės stiprio sandaugai.</p>
<p>Paprasčiausi elektriniai prietaisai</p>	<p>Paprasčiausi prietaisai, kuriuose taikomas šiluminis srovės veikimas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kaitinamoji lempa,</li> <li>• lygintuvas,</li> <li>• lituoklis,</li> <li>• vandens šildymo spiralė.</li> </ul>
<p>Trumpasis jungimas</p>	<p>Trumpuoju jungimu vadinamas šaltinio polių sujungimas laidininku, kurio varža yra maža, palyginti su kitų grandinės dalių varža.</p>
<p>Saugikliai</p>	<p>Saugikliai schemose žymimi  .</p> <p>Saugiklių rūšys:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lydieji saugikliai,</li> <li>• automatiniai saugikliai.</li> </ul>

## Savikontrolės užduotys

1. Kuris iš nurodytų matavimo vienetų nėra elektros srovės darbo vienetas?

- A Džaulis.
- B Kilovatvalandė.
- C Megavatas.
- D Vatsekundė.

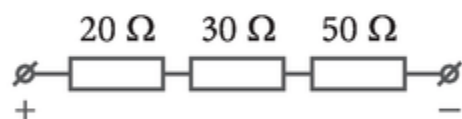
2. Kuris sąryšis yra teisingas?

- A  $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3600 \text{ J}$ .
- B  $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 360\,000 \text{ J}$ .
- C  $1 \text{ J} = 3\,600\,000 \text{ kW} \cdot \text{h}$ .
- D  $1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ J}$ .

3. Į  $220 \text{ V}$  įtampos tinklą įjungtos elektrinės viryklės spirale teka  $5 \text{ A}$  srovė. Kokį darbą ji atlieka per  $15 \text{ min}$ ?

- A  $900 \text{ kJ}$ .
- B  $99 \text{ kJ}$ .
- C  $1 \text{ MJ}$ .
- D  $9,9 \text{ MJ}$ .

4. Kiek šilumos per  $100 \text{ s}$  išskiria  $20 \, \Omega$  varžos spirale, tekant  $3,5 \text{ A}$  srovei?



7.17 pav.

5. Elektrinio virdulio, įjungto į elektros tinklą, kaitinamasis elementas įkaista labai stipriai, o jungiamasis laidas lieka šaltas. Kodėl?

6. Kuriame iš 7.17 paveiksle pavaizduotų varžų, įjungtų į elektrinę grandinę, per tiek pat laiko išsiskirs daugiausia energijos?

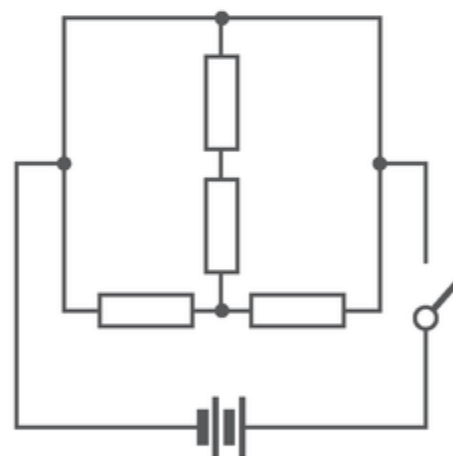
- A  $20 \, \Omega$  varžė.
- B  $30 \, \Omega$  varžė.
- C  $50 \, \Omega$  varžė.
- D Visuose vienodai.

7. Kai elektrine krosnimi teka  $50 \text{ A}$  stiprio srovė, jos galia lygi  $6 \text{ kW}$ . Kokia yra krosnies gnybtų įtampa?

8.  $60 \text{ W}$  ir  $40 \text{ W}$  galios lemputės tinka  $220 \text{ V}$  įtampai. Kurios lemputės kaitinamuoju siūlu tekės stipresnė srovė? Kodėl?

9. 7.18 paveiksle pavaizduota keturių varžų jungimo schema. Kas atsitiks sujungus grandinę pagal šią schemą?

10. Kas atsitinka, kai elektrinė grandinė perkraunama?



7.18 pav.





# E L E K T R A

## 8 Elektros srovė įvairiose terpėse

Šiame skyriuje susipažinsite su:

- įvairių rūšių terpėmis (elektrolitais, puslaidininkiais, plazma);
- elektros srove skysčiuose, dujose, vakuume, puslaidininkiuose;
- elektrolizės reiškiniu;
- elektros išlydžiu (nesavaiminiu, savaiminiu);
- termoelektroninės emisijos sąvoka;
- puslaidininkių laidumu (elektroniniu, skyliniu);
- puslaidininkine sandūra;
- kai kuriais prietaisais (vakuuminiu diodu, puslaidininkiniu diodu).

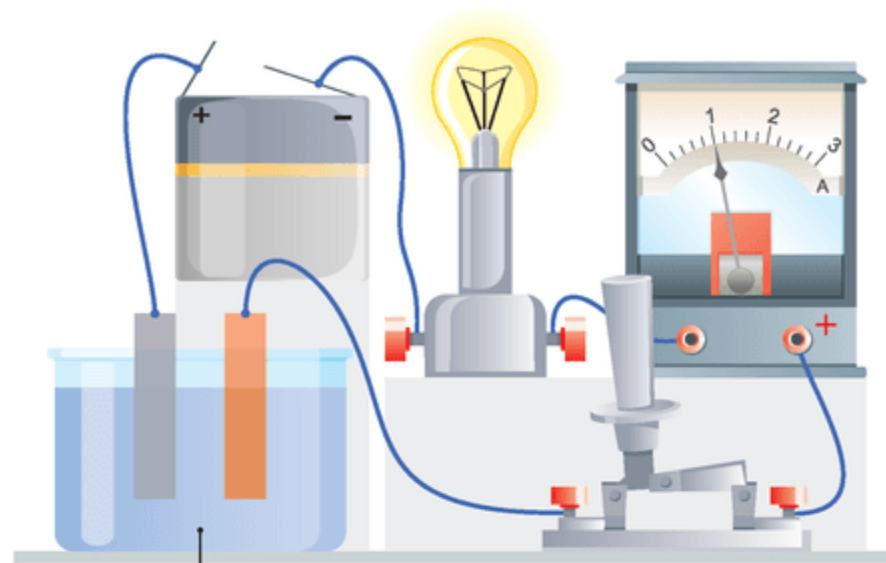
# 8.1. Elektros srovė skysčiuose

## Elektrolitai

VII klasėje kalbėdami apie elektros laidininkus ir izoliatorius, prie gerų laidininkų priskyrėme metalus, grafitą, druskų ir rūgščių tirpalus, o prie izoliatorių – orą, stiklą, gumą, sausą medį, distiliuotą vandenį ir pan. Taigi elektros srovė gali tekėti ne tik metalais, bet tam tikromis sąlygomis ir skysčiais. Juk būtent dėl galimo srovės tekėjimo vandeniu rekomenduojama paisyti 7.5 skyrelyje išvardytų taisyklių. Išnagrinėkime, kas sukelia srovę skysčiuose.

**1 bandymas.** Jungiamaisiais laidais nuosekliai sujunkime srovės šaltinį, stiklinį indą su dviem elektrodais (varinėmis plokštelėmis arba anglies strypeliais), lemputę ir jungiklį. Į stiklinį indą įpilkime distiliuoto vandens ir įjunkime jungiklį (8.1 pav., a). Lemputė nešviečia, vadinasi, elektros srovė grandine neteka. Nėra ko stebėtis – juk distiliuotas vanduo srovei nelaidus. Į vandenį įberkime žiupsnelį valgomosios druskos ( $\text{NaCl}$ ). Netrukus lemputė sušvinta – grandine ima tekėti srovė (8.1 pav., b). Vadinasi, tirpale atsirado judriųjų krūvininkų.

Bandymą galime pakartoti, vieną kartą į distiliuotą vandenį įbėrę cukraus, kitą kartą įpylę rūgšties arba šarmo tirpalo. Cukraus tirpalu sro-



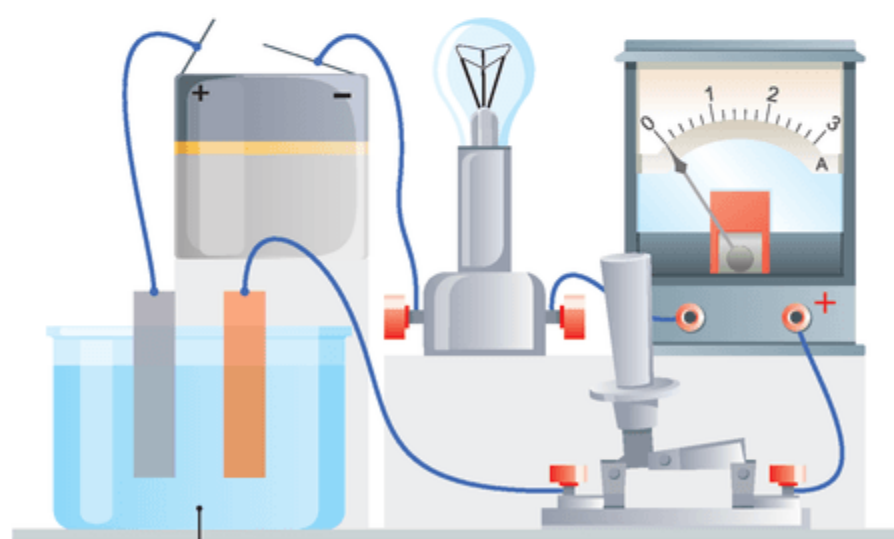
Druskos tirpalas

8.1 pav., b

vė neteka, o druskos, rūgšties ar šarmo tirpalu teka (panašius bandymus tikriausiai matėte arba darėte per chemijos pamokas).

**2 bandymas.** Pakartokime pirmą bandymą, tačiau į indą vietoj druskos tirpalo įpilkime vario sulfato ( $\text{CuSO}_4$ ) tirpalo. Jungikliu sujungus grandinę, tirpalu ims tekėti srovė (lemputė įsižiebs). Po kurio laiko pastebėsime, kad su neigiamuoju šaltinio poliumi sujungtas elektrodas pasidengė variu, išsiskyrusiu iš inde esančio tirpalo. Tai leidžia manyti, kad  $\text{CuSO}_4$  tirpale buvo judriųjų elektringųjų dalelių – netvarkingai judančių teigiamųjų ir neigiamųjų jonų. Kaip jie atsirado?

Druskos (1 bandyme) ir vario sulfato (2 bandyme) kristalams tirpstant vandenyje, kristalų ir vandens molekulės ima sąveikauti ir dėl to kristalai suyra (disocijuoja<sup>1</sup> į jonus). Vieni iš jų turi teigiamąjį krūvį, kiti – neigiamąjį. Taigi tirpale atsiranda teigiamųjų ir neigiamųjų jonų (1 bandyme –  $\text{Na}^+$  ir  $\text{Cl}^-$ , 2 bandyme –  $\text{Cu}^{2+}$  ir  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Jie, kaip ir molekulės, juda netvarkingai. Vandensiniuose elektrolitų tirpaluose arba lydaluose krūvininkai yra teigiamieji ir neigiamieji jonai, todėl šių medžiagų laidumas vadinamas joniniu.



Distiliuotas vanduo

8.1 pav., a

<sup>1</sup>Iš chemijos prisiminkite, kad tirpinamų medžiagų skaidymasis į jonus vadinamas **elektrolitine disociacija** (lot. *dissociatio* – atskyrimas, suskaldymas), o medžiagos, kurių vandeniniai tirpalai arba lydalai yra laidūs elektros srovei, – **elektrolitais** (*elektro* – pirmoji sudurtinių žodžių dalis, rodanti jų sąsają su elektra, gr. *lytos* – ištirpęs).

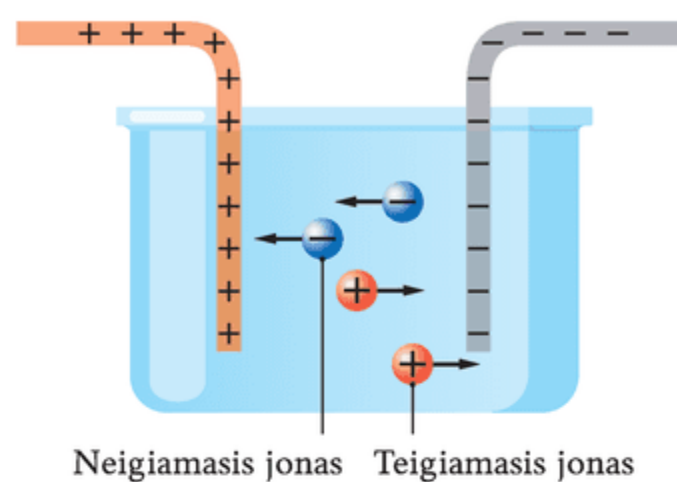


## Elektrolizė ir jos taikymas

Dabar jau aišku, kas vyko 1 ir 2 bandymo grandinėje, kai ją sujungėme jungikliu. Veikiami srovės šaltinio sukurto elektrinio lauko, krūvininkai ėmė judėti kryptingai: teigiamieji jonai – neigiamojo elektrodo link, neigiamieji – teigiamojo elektrodo link (8.2 pav.). Šie jonų srautai ir sudarė elektros srovę. Pasiekę atitinkamus elektrodus, jonai atidavė jiems perteklinius elektronus arba prisijungė trūkstamų (prisiminkite, kaip chemijoje vadinamos šios reakcijos), virto neutraliais atomais arba molekulėmis ir nusėdo ant elektrodų. Vadinasi, **elektros srovė elektrolitų tirpaluose yra kryptingas teigiamųjų ir neigiamųjų jonų judėjimas**.

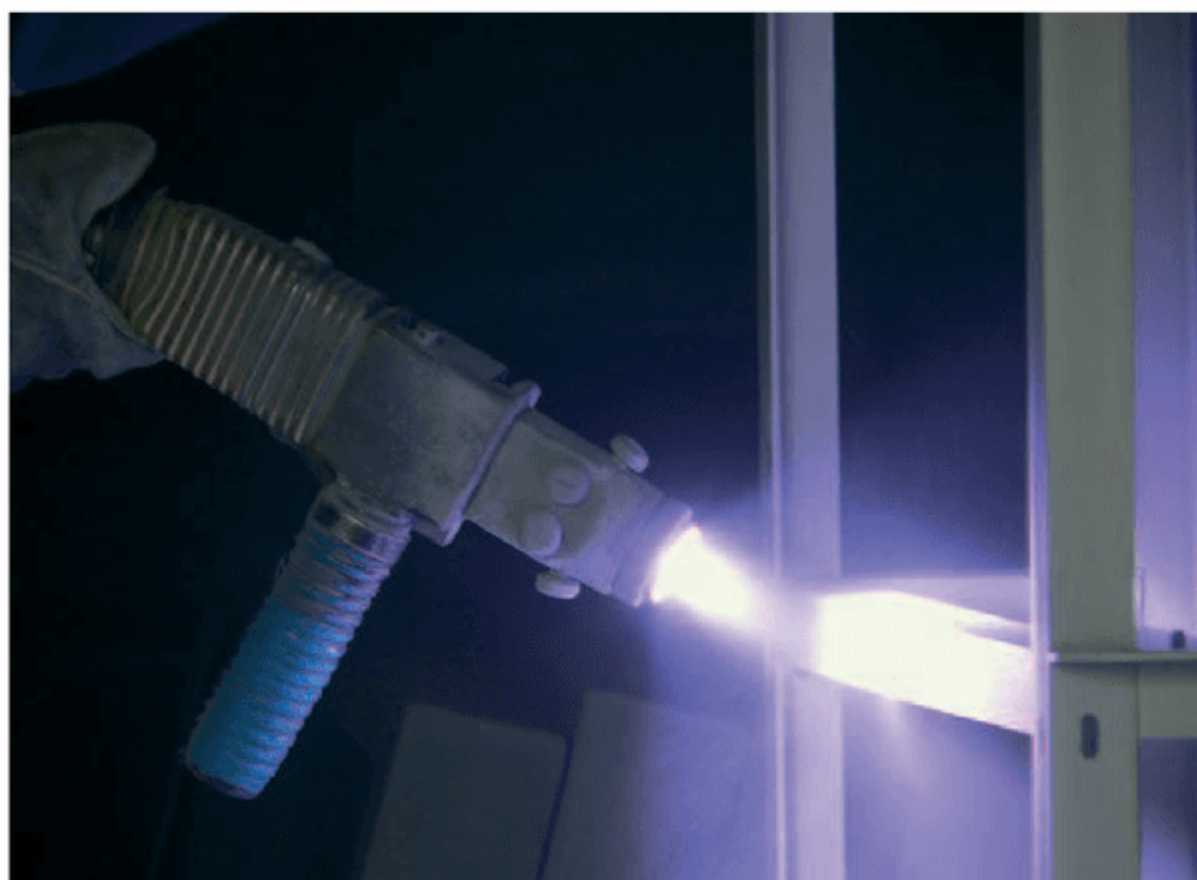
Medžiagos išsiskyrimas ant elektrodų, tekant elektros srovei elektrolitų tirpalais ar lydalais, vadinamas **elektrolizė** (*elektro* – sudurtinių žodžių dalis, rodanti sąsają su elektra, gr. *lysis* – susirimas, atskyrimas).

Elektrolizė plačiai taikoma pramonėje. Elektrolizės būdu vienus metalus galima padengti plonu kitų metalų sluoksniu ir apsaugoti nuo rūdijimo. Tuo pagrįstas gaminių nikeliavimas, variavimas, chromavimas ir pan. Kurdami šių procesų technologijas, ypač daug nuveikė Lietuvos chemijos



8.2 pav.

instituto mokslininkai. Jų paruoštos technologijos taikomos daugelyje šalies ir užsienio gamyklų. Elektrolizės būdu cinkuojamas plieninis automobilių kėbulas, nikeliuojami vandens čiaupai ar stalo įrankiai, sidabruojami bei auksuojami papuošalai (8.3 pav.) ir t. t. Elektrolizė taikoma vandeniliui ir deguoniui iš vandens, daugeliui organinių medžiagų (vaistams, vitaminams) gauti. Leidžiant elektros srovę kai kurių metalų druskų lydalais, pavyksta išskirti labai grynus metalus. Taip gaunami metalai, kuriuos kitais būdais gauti nepaprastai sunku, pavyzdžiui, aliuminis, varis, magnis. Elektrolizės būdu iš metalų pašalinamos priemaišos.



8.3 pav., a



8.3 pav., b

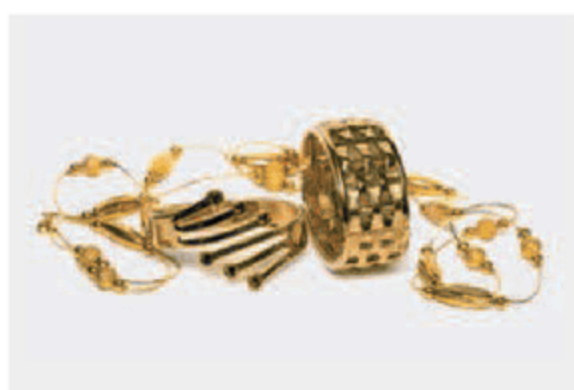


8.3 pav., c





8.3 pav., d



8.3 pav., e



8.3 pav., f

### Užduotys

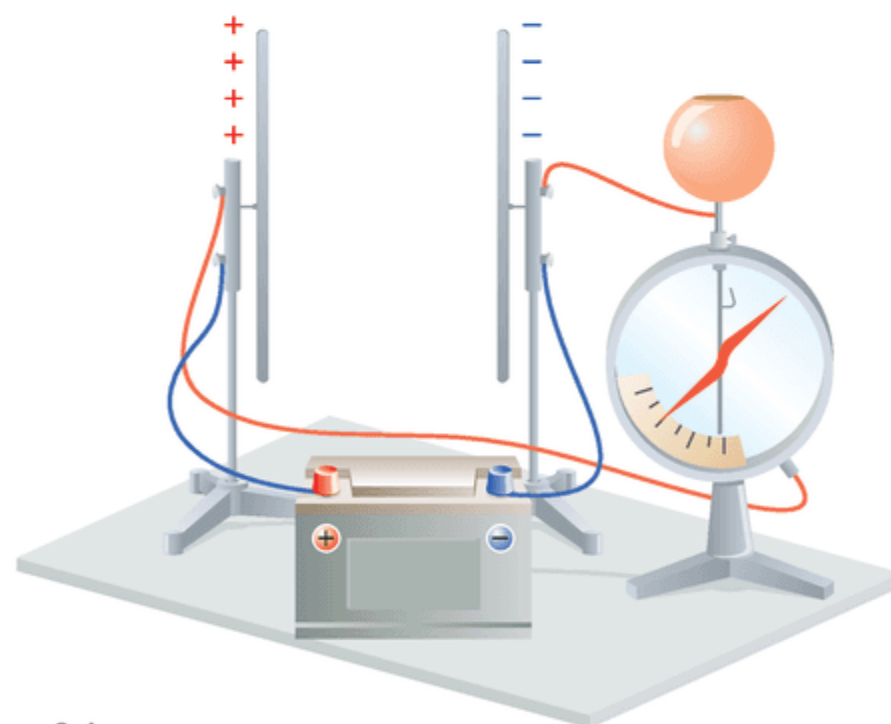
1. Kodėl elektrolito tirpalas yra laidus elektros srovei?
2. Kaip jame atsiranda jonų?
3. Kokių sąlygų reikia, kad elektrolitų tirpalais tekėtų elektros srovė?
4. Kas yra elektros srovė elektrolitų tirpaluose?
5. Kodėl neizoliuotus elektros laidus pavojingiau liesti drėgnomis rankomis negu sausomis?
6. Ant kurio elektrodo elektrolizės metu išsiskiria varis? Kodėl?
7. Kaip elektrolizė taikoma praktikoje? Pateikite du tris pavyzdžius iš artimiausios aplinkos.
8. Varinė plokštelė padengta vašku, kuriame išraižytas piešinys. Kas įvyks, jei šią plokštelę naudosime kaip neigiamąjį elektrodą, įstatytą į vonią su vario sulfato tirpalu, kuriuo teka elektros srovė?

## 8.2. Elektros srovė dujose

### Elektros išlydis

Normaliosiomis sąlygomis dujos yra geri elektros izoliatoriai, nes jose, palyginti su metalais, yra labai mažai judrių elektringųjų dalelių. Pavyzdžiui, viename kubiniame centimetre metalų paprastai būna iki  $10^{23}$  laisvųjų elektronų, o tokio pat tūrio erdvės dalį užimančiose dujose – tik  $10^9$  elektringųjų dalelių (jonų, laisvųjų elektronų). Izoliacinėmis dujų savybėmis galime įsitikinti kasdien, jungikliu įjungdami ar išjungdami elektrinius prietaisus: kai metalinė jungiklio dalis uždaro grandinę, lemputė kambaryje sušvinta, o kai jungiklis išjungiamas, t. y. kai grandinėje atsiranda oro (azoto, deguonies ir kitų dujų mišinio) tarpas, užgesa.

**Bandymas.** Dvi gerai izoliuotas metalines plokšteles sujunkime su elektroskopu: vieną me-



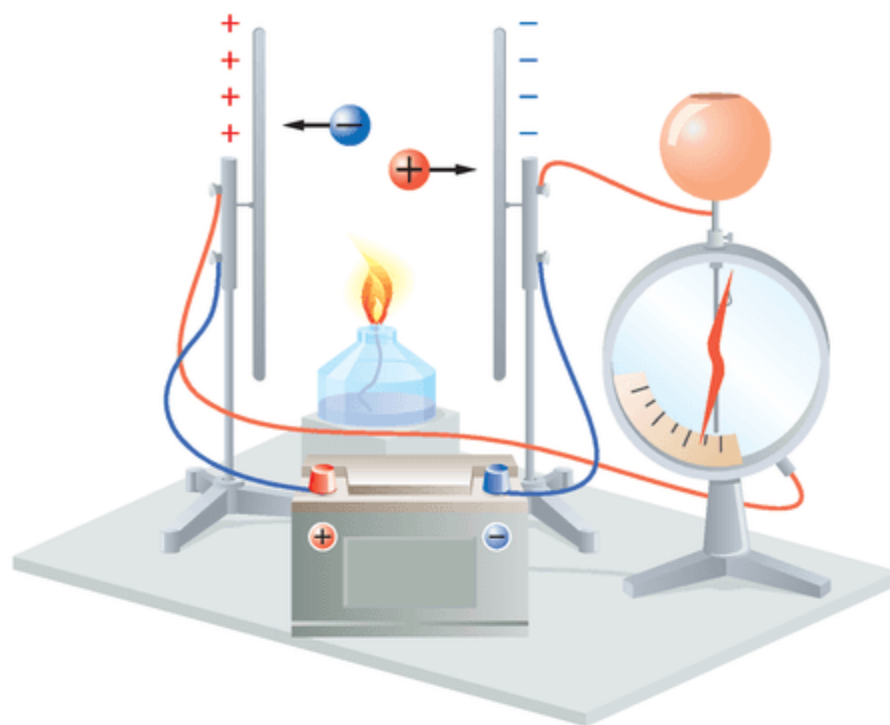
8.4 pav., a

talinę plokštelę – su rodykle, kitą plokštelę – su korpusu (8.4 pav., a). Laisvus abiejų plokštelių



galus prijunkime prie srovės šaltinio polių. Viena plokštelė įsielektrins teigiamai, kita – neigiamai, o elektroskopo rodyklė pasisuks. Kurį laiką ją stebėkime. Rodyklė nejuda ir rodo įtampą tarp plokštelių. Išsielektrinti joms neleidžia tarp plokštelių esantis oro tarpas. Nors čia ir atsiranda elektrinis laukas, tačiau nėra judrių elektrinių dalelių, galinčių sudaryti srovę.

Į erdvę tarp plokštelių įneškime degančią žvakę ar spiritinę lempuotę, t. y. orą pakaitinkime. Elektroskopo rodyklė ima krypti žemyn (8.4 pav., b). Vadinasi, tarp plokštelių atsirado krūvininkų ir pratekėjo elektros srovė – įkaitintos dujos (oras) pasidarė laidžios. Elektros srovės tekėjimas dujomis vadinamas **elėktros išlydžiu**.



8.4 pav., b

## Dujų jonizacija

Kas yra tie atsiradę krūvininkai? Kodėl jie atsirado? Stebimą reiškinį galima paaiškinti taip. Įprastomis sąlygomis dujos dažniausiai yra elektros izoliatorius, nes jose mažai judriųjų dalelių. Dėl to srovė tarp plokštelių neteka. Kaitinant dujas (šiuo atveju – orą), dalis jų molekulių ar atomų virsta jonais. Kaitinamų dujų molekulės arba atomai ima judėti greičiau ir kai kurie įgyja tiek energijos, kad susidurdami išmuša elektronus. Dėl to dujose atsiranda laisvųjų elektronų ir teigiamųjų jonų. Dalis laisvųjų elektronų prisijungia prie neutralių atomų, sudarydami neigiamuosius jonus. Toks neutralių molekulių arba atomų virsmas jonais vadinamas **dujų jonizacija**. Atliekant šį bandymą, liepsna buvo jonų atsiradimo priežastis, t. y. dujų jonizatorius. Juo gali būti ne vien žvakės liepsna, bet ir įvairūs spinduliai.

Veikiant liepsnai, erdvėje tarp plokštelių atsirado teigiamųjų bei neigiamųjų jonų ir laisvųjų elektronų. Elektrinio lauko veikiami, jie pradėjo judėti kryptingai: teigiamieji jonai – prie neigiamai įelektrintos plokštelės, neigiamieji jonai ir elektronai – prie teigiamai įelektrintos plokštelės. Pasiekę plokšteles, krūvininkai atidavė joms perteklinius elektronus arba prisijungė trūksta-

mų. Plokštelės dėl to išsielektrino – trumpai tekėjo elektros srovė. Taigi **elektros srovė dujose yra kryptingas teigiamųjų bei neigiamųjų jonų ir elektronų judėjimas**.

Elektros srovės tekėjimas dujomis dėl jonizatoriaus poveikio vadinamas **nesaváiminiu išlydžiu**. Stiprinant elektrinį lauką, elektros srovė gali atsirasti ir tada, kai jonizatorius neveikia. Išlydis, vykstantis be jonizatoriaus, vadinamas **saváiminiu**. Jo metu dujos jonizuojamos jų molekulėms (atomams) susiduriant su laisvaisiais elektronais. Tokia jonizacija vadinama **smūgine**. Laisvasis elektronas, veikiamas stipraus elektrinio lauko, labai pagreitėja, įgyja daug energijos ir, susidurdamas su molekule (atomu), ją jonizuoja. Elektronas, jonizavęs molekulę, ir išlaisvintasis elektronas, susidurdamis su kitomis molekulėmis, išlaisvina iš jų dar po vieną elektroną ir t. t. Laisvųjų elektronų skaičius sparčiai didėja. Visi jie juda teigiamojo elektrodo link. Jonizacijos metu atsiradusius teigiamuosius jonus elektrinis laukas nukreipia neigiamojo elektrodo link. Susidurdamis su šiuo elektrodu, jie gali išmušti naujų elektronų, ir procesas vyksta nenutrūkstamai.



---

## Elektros išlydis gamtoje ir technikoje

Elektros išlydį galime stebėti gamtoje. Tai – poliarinės pašvaistės (8.5 pav., *a*), žaibas (8.5 pav., *b*), vadinamosios šv. Elmo ugnys, kylančios prie žaibolaidžių ar laivų stiebų. Jis vyksta ir šukuojant plaukus, nusivelkant sintetinius drabužius, perskiriant popieriaus lapus. Išlydis taikomas

prožektoriuose (8.5 pav., *c*), dienos šviesos lempose (8.5 pav., *d*), reklaminiuose vamzdeliuose (8.5 pav., *e*) ir pan. Pavyzdžiui, neono pripildyti reklaminiai vamzdeliai ima švytėti raudonai. Plačiau apie elektros išlydį sužinosite aukštesnėse klasėse.



8.5 pav., *a*



8.5 pav., *d*



8.5 pav., *b*



8.5 pav., *c*



8.5 pav., *e*

---

## Plazma

Tyrinėdami elektros išlydį, susidūrėme su jonizuotomis dujomis. Tokios iš dalies arba visiškai jonizuotos dujos vadinamos **plazma** (gr. *plasma* – lipdiny, darinys). Ją sudarančių teigiamųjų ir neigiamųjų krūvininkų tankis praktiškai yra vienodas, todėl plazma elektriškai neutrali. Visiškai jonizuotose dujose neutralių atomų nėra.

Plazmos būseną dažnai vadinama ketvirtąja (greta kietosios, skystosios ir dujinės) agregatine medžiagos būseną. Plazmos būsenos yra beveik visa (apie 99 %) Visatos medžiaga: Saulė, žvaigždės, tarpžvaigždinės dujos, užpildančios erdvę tarp žvaigždžių ir galaktikų, mūsų planetos viršutinis sluoksnis – jonosfera ir kt.



1. Kas yra krūvininkai dujose?
2. Kokiomis sąlygomis dujose vyksta išlydis?
3. Nustojus veikti jonizatoriui, išlydis dujose nutrūksta. Kaip manote, kodėl?
4. Pasvarstykite, kuo elektros srovė dujose panaši į srovę elektrolitų tirpaluose.
5. Kodėl vidaus degimo variklio žvakės maitinamos aukšta įtampa (net iki 20 000 V)?
6. Sausame ore kibirkštis 1 cm atstumą peršoka, kai įtampa yra apie 30 000 V. Kokio dydžio įtampa susidaro tarp elektrostatinės mašinos rutuliukų, jei kibirkštis dar šoka, kai atstumas tarp jų lygus 5 cm?
7. Prisiminkite, kur praktikoje jums yra tekę susidurti su elektros išlydžiu. Pateikite bent du pavyzdžius.

## 8.3. Elektros srovė vakuume

### Krūvininkai vakuume

Vakuumas (tuštuma) yra geriausias elektros izoliatorius, mat molekulių jame yra tiek mažai, kad tikimybė joms susidurti visiškai menka. Vis dėlto ir vakuume galima sudaryti srovę, tereikia įrengti

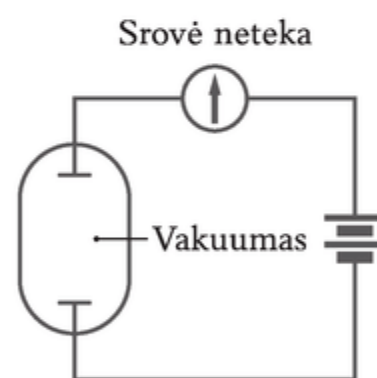
jame kokį nors krūvininkų šaltinį. Toks šaltinis dažniausiai yra įkaitintas kūnas, galintis spinduliuoti elektronus. Taigi **elektros srovė vakuume yra kryptingas elektronų judėjimas**.

### Termoelektroninė emisija

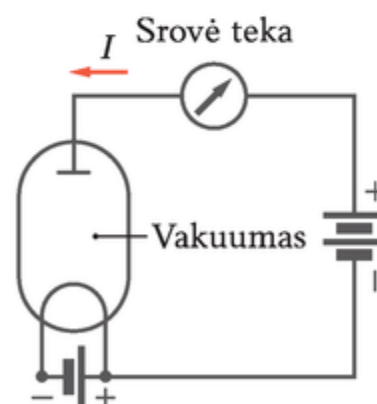
Jeigu stiklinę kolbą, iš kurios išsiurbtas oras ir kurioje įtaisyti du metaliniai elektrodai, sujungtume su srovės šaltiniu ir labai jautriu ampermetru (8.6 pav., a), matytume, kad jo rodyklė nepakrypsta. Elektros srovė tarp elektrodų neteka, nors įtampa ir yra. Nėra laisvųjų elektringųjų dalelių.

Su neigiamuoju šaltinio poliumi sujungtą elektrodą pakaitinus (pavyzdžiui, elektros srove, tekančia nuo kito srovės šaltinio), srovė grandinėje ima tekėti ir ampermetro rodyklė pakrypsta (8.6 pav., b). Kuo labiau įkaista elektrodas, tuo stipresnė srovė. Vadinasi, vakuume atsirado elektringųjų dalelių. Amerikiečių mokslininkas ir išradėjas Tomas Alva Edisonas (*Edison*) 1883 m. aptiko, kad smarkiai įkaitintas metalas spinduliuoja laisvuosius elektronus. Šis procesas buvo pavadintas **termoelektronine emisija** (lot. *emissio* – išspinduliavimas, išleidimas). Tai gi elektros srovę kolboje sukelia įkaitinto elek-

8.6 pav., a



8.6 pav., b



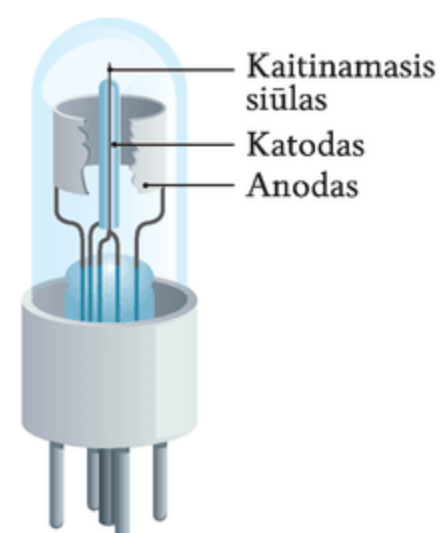
trodo išspinduliuoti elektronai. Veikiami elektrinio lauko, jie juda teigiamojo elektrodo link.



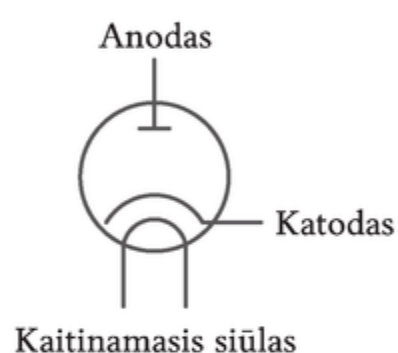
## Vakuuminis diodas

Termoelektroninė emisija taikoma įvairiuose elektroniniuose prietaisuose. Paprasčiausias iš jų yra dviejų elektrodų elektroninė lempa (8.7 pav., a), vadinama **vakuuminė dioda** (lot. *vacuum* – tuštuma, gr. *di* – priešdėlis, reiškiantis, kad kas nors sudarytas iš dviejų dalių, (elektr)odas; gr. *elektro* – sudurtinių žodžių dalis, rodanti jų sąsają su elektra, *hodos* – kelias). Jį sudaro stiklinis balionas, kuriame įtaisyti du elektrodai: **anodas** (gr. *anodos* – kelias aukštyn) ir **katodas** (gr. *kat-hodos* – kelias žemyn, nusileidimas). Kai kurių konstrukcijų dioduose katodas yra plona metalinė vielutė, susukta spirale, o anodas – tuščiaviduris metalinis ritinėlis, gaubiantis katodą. Katodas paprastai kaitinamas elektros srove (prijungiamas prie elektros srovės šaltinio) tiesiogiai arba šalia įtaisyta vielute – kaitinamuoju siūlu. 8.7 paveiksle, b, parodytas sutartinis vakuuminio diodo žymėjimas elektrinėse schemose.

Katodo išspinduliuoti elektronai aplink katodą sudaro elektronų debesėlį. Prie lempos anodo prijungus srovės šaltinio teigiamąjį polių, o prie katodo – neigiamąjį, elektronai, veikiami elektrinio lauko, lempos viduje juda nuo katodo prie anodo. Grandine teka elektros srovė. Sukeitus šaltinio polius vietomis, srovė nutrūksta, nes elektrinis laukas priešinasi elektronų judėjimui nuo katodo prie anodo. Taigi **diodu elektros**



8.7 pav., a

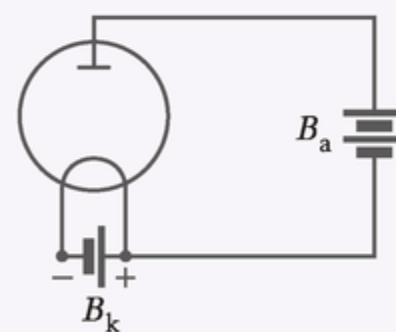


8.7 pav., b

**srovė gali tekėti tik viena kryptimi.** Dėl šios savybės vakuuminiai diodai naudojami elektroniniuose prietaisuose kintamajai srovei lyginti (paversti vienos krypties srove). (Kintamąją elektros srovę, t. y. srovę, kurios stipris ir tekėjimo kryptis periodiškai kinta, nagrinėsite X klasėje.)

### Užduotys

1. Kas sukelia elektros srovę vakuume?
2. Kaip vakuume atsiranda elektringųjų dalelių?
3. 8.8 paveiksle pavaizduota įrenginio srovei vakuume tirti schema. Kokį vaidmenį joje atlieka baterijos  $B_a$  ir  $B_k$ ?
4. Ar grandine tekės elektros srovė, jei sukeisime baterijų polius (žr. 8.8 pav.)?
5. Apibūdinkite vakuuminio diodo sandarą.
6. Nuo ko priklauso srovės stipris vakuuminiame diode?
7. Kodėl elektroninės lempos katodas greitai suyra, jeigu lempos yra šiek tiek oro?



8.8 pav.

8. Įtampą tarp diodo įkaitinto katodo ir anodo padidinus iki kelių tūkstančių voltų, anodas labai stipriai įkaista ir gali net išsilydyti. Kodėl?



## 8.4. Elektros srovė puslaidininkiuose

### Puslaidininkiai

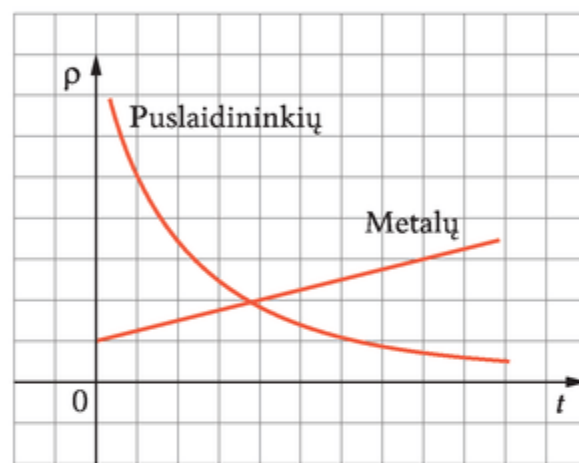
Be mums jau žinomų elektros laidininkų ir izoliatorių, yra medžiagų, kurios pagal elektrinį laidumą užima tarpinę vietą tarp laidininkų ir izoliatorių. Dėl to jos vadinamos **pūs-laidininkiais**. Palyginkime visų trijų grupių medžiagų savitąją varžą  $\rho$ :

- laidininkų (pavyzdžiui, sidabro, vario, aliuminio)  $\rho \approx 10^{-8} - 10^{-7} \Omega \cdot m$ ,
- puslaidininkių (pavyzdžiui, germanio, silicio, seleno, telūro)  $\rho \approx 10^{-7} - 10^8 \Omega \cdot m$ ,
- izoliatorių (pavyzdžiui, stiklo, porceliano, gumos, marmuro)  $\rho \approx 10^8 - 10^{17} \Omega \cdot m$ .

Nuo laidininkų puslaidininkiai skiriasi ne tik savitosios varžos dydžiu, bet ir jos priklausomybe nuo temperatūros. Pavyzdžiui, kylant temperatūrai, metalų, kurie yra geri laidininkai, savitoji varža didėja, o puslaidininkių – mažėja (8.9 pav.). Labai žemos temperatūros sąlygomis savitoji puslaidininkių varža yra nepaprastai di-

delė, todėl puslaidininkiai panašūs į izoliatorius. Kylant temperatūrai, jų savitoji varža ima staigiai mažėti.

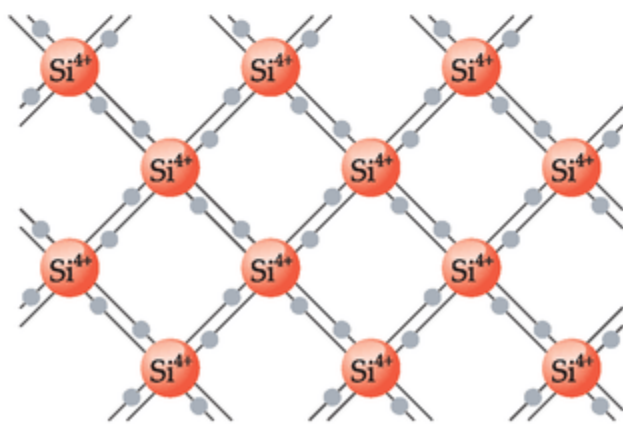
Plačiausiai žinomos puslaidininkinės medžiagos yra cheminiai elementai selenas, silicis ir germanis, taip pat kai kurie junginiai: galio arsenidas (GaAs), indžio stibidas (InSb), kadmio ir švino sulfidai (CdS ir PbS) ir kt.



8.9 pav.

### Puslaidininkių sandara

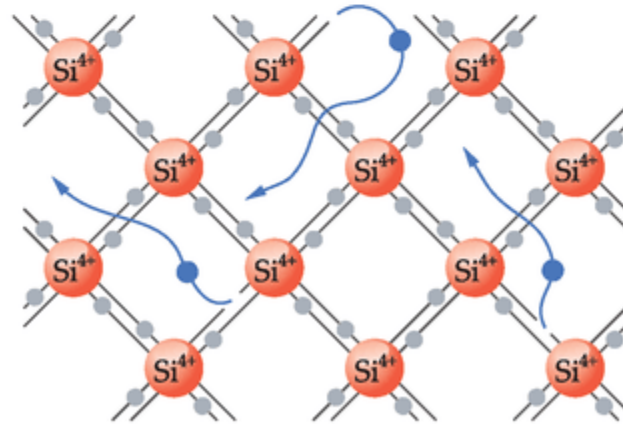
Puslaidininkių elektrinio laidumo ypatybes paaiškinsime remdamiesi silicio, periodinės elementų lentelės IV grupės atstovo, sandara. Jos modelis pateiktas 8.10 paveiksle. Šios grupės elementų atomų išoriniame sluoksnyje yra po keturis elektronus (paveiksle juos vaizduoja pilki skrituliukai). Kai temperatūra žema, šie elektronai yra stipriai susiję su atomais ir laisvųjų elektronų beveik nėra. Toks silicis – puikus izoliatorius.



8.10 pav.

Kaitinant silicį, kai kurie jo elektronai įgyja pakankamai energijos, kad galėtų nutraukti ryšį su atomu ir tapti laisvi (8.11 paveiksle jie pa-vaizduoti mėlynais skrituliukais). Kuo aukštesnė silicio temperatūra, tuo daugiau jame atsiranda laisvųjų elektronų (jų gali atsirasti ir apšviečiant silicį).

Elektronui ištrūkus iš atomo išorinio sluoksnio, jame lieka laisva elektrono vieta. Ji vadina-



8.11 pav.



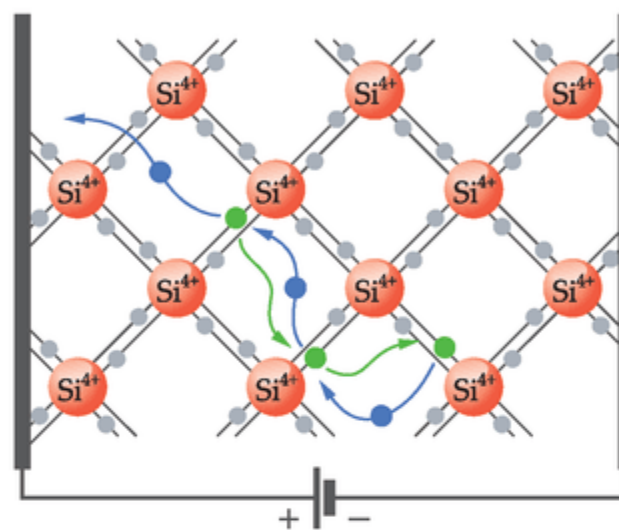
ma **skylė** ir turi perteklinį teigiamąjį krūvį. Į šią vietą gali peršokti elektronas iš gretimo atomo. Tada skylė atsiras kitoje vietoje, į ją vėl peršoks kito atomo elektronas ir t. t. Taigi ta laisva vieta,

arba skylė, turinti teigiamąjį krūvį, netvarkingai judės puslaidininkiu. Laisvieji elektronai ir skylės puslaidininkyje atsiranda kartu, poromis, todėl jų skaičius yra vienodas.

## Puslaidininkių laidumas

Kai puslaidininkį prijungsime prie srovės šaltinio (8.12 pav.), krūvininkai (laisvieji elektronai ir skylės) atsидurs elektriniame lauke ir ims judėti kryptingai: laisvieji elektronai – į vieną pusę (mėlyna rodyklė), skylės – į priešingą pusę (žalia rodyklė). Puslaidininkyje atsiras elektros srovė. Kaitinant arba apšviečiant puslaidininkį, krūvininkų jame daugės, kartu didės ir elektrinis puslaidininkio laidumas. Taigi **puslaidininkiuose elektros srovę sukelia vienodas skaičius laisvųjų elektronų ir skylių**. Aprašytas elektroninis ir skylinis laidumas būdingas gryniesiems puslaidininkiams, t. y. puslaidininkiams, neturintiems priemaišų, todėl jis vadinamas **savuoju puslaidininkių laidumu**.

Savasis puslaidininkių laidumas yra menkas, nes mažai laisvųjų elektronų. Pavyzdžiui, kambario temperatūros sąlygomis viename kubiniame centimetre germanio yra  $10^{23}$  atomų, tačiau tik  $3 \cdot 10^{13}$  laisvųjų elektronų. Į puslaidininkius įterpus priemaišų (kitų cheminių elementų ato-



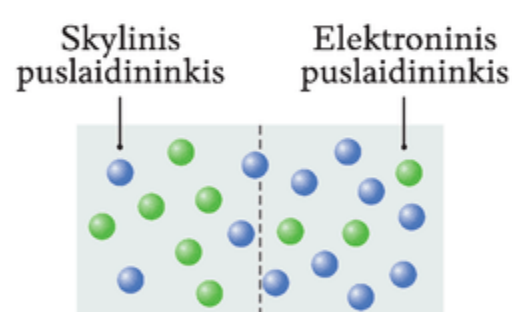
8.12 pav.

mų), laidumas labai padidėja. Tada šalia savojo laidumo atsiranda papildomas **priemaišinis puslaidininkių laidumas**. Keičiant atitinkamų priemaišų kiekį, galima reguliuoti vienokio ar kitokio ženklo krūvininkų skaičių puslaidininkyje ir pagaminti puslaidininkį, kuriuose vyrautų teigiamieji arba neigiamieji krūvininkai. Dėl šios savybės padidėja puslaidininkių taikymo galimybės.

## Puslaidininkinė sandūra

Praktikoje dažniau naudojami suglausti puslaidininkiai, kurių vienoje dalyje yra daugiau skylių (skylinis puslaidininkis), o kitoje – elektronų (elektroninis puslaidininkis). Šių dalių kontaktas vadinamas **skylinė-elektronine sandūra**. Ji pakeičia krūvininkų išsidėstymą kiekviename iš suglaustų puslaidininkių.

Jeigu toks puslaidininkis yra neįjungtas į elektrinę grandinę, tai kiekvienoje jo dalyje laisvieji elektronai ir skylės juda netvarkingai. Dėl to kai kurie laisvieji elektronai per skylinę-elektroninę sandūrą gali pereiti į skylių sritį, o skylės – į elektronų sritį. Elektronams perėjus iš elektronų srities į skylių sritį, jų sritis netenka dalies neigiam-



8.13 pav.

mojo krūvio, t. y. įsielektrina teigiamai, o elektronų sritis įsielektrina neigiamai, nes elektronai atkeliauja su neigiamu krūviu (8.13 pav.). Tuo tarpu skylės iš skylių srities išsineša teigiamąjį krūvį ir dėl to šioje srityje padidėja neigiamasis krūvis. Taigi dėl elektronų difuzijos į skylių sritį



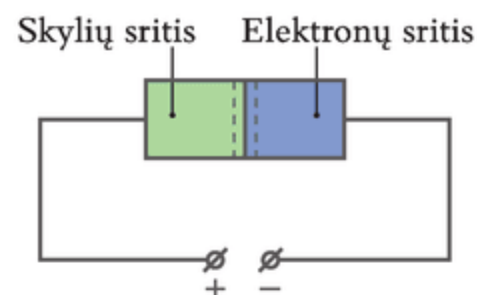
ir skylių difuzijos į elektronų sritį puslaidininkinė sandūra įsielektrina, atsiranda elektrinis laukas, kuris trukdo laisviesiems elektronams ir skylėms toliau skverbtis į priešingas sritis.

Puslaidininkį, turintį skylinę–elektroninę sandūrą, jungiant įvairiais būdais į elektrinę grandinę, elektronų ir skylių skverbimąsi galima sustiprinti arba susilpninti.

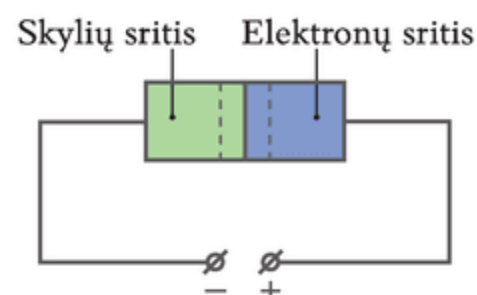
## Laidžioji ir užtvarinė kryptis

Sakykime, puslaidininkio skylių sritis prijungta prie srovės šaltinio teigiamojo poliaus, o elektronų sritis – prie neigiamojo poliaus (8.14 pav., a). Per sandūrą iš elektronų srities į skylių sritį pradeda judėti elektronai, o iš skylių srities į elektronų sritį – skylės. Kadangi šių krūvininkų tokia puslaidininkyje yra daug, srovė gali būti gana stipri.

Puslaidininkio skylių sritį prijungus prie srovės šaltinio neigiamojo poliaus, o elektronų sritį – prie teigiamojo poliaus (8.14 pav., b), per



8.14 pav., a



8.14 pav., b

sandūrą srovė beveik neteka. Iš skylių srities į elektronų sritį pereina labai mažai elektronų, o iš elektronų srities į skylių sritį – skylių. Taigi **puslaidininkinė sandūra praleidžia elektros srovę viena kryptimi ir nepraleidžia jos priešinga kryptimi**. Ši puslaidininkių savybė taikoma kintamosios srovės lygintuvuose.

## Puslaidininkiniai prietaisai

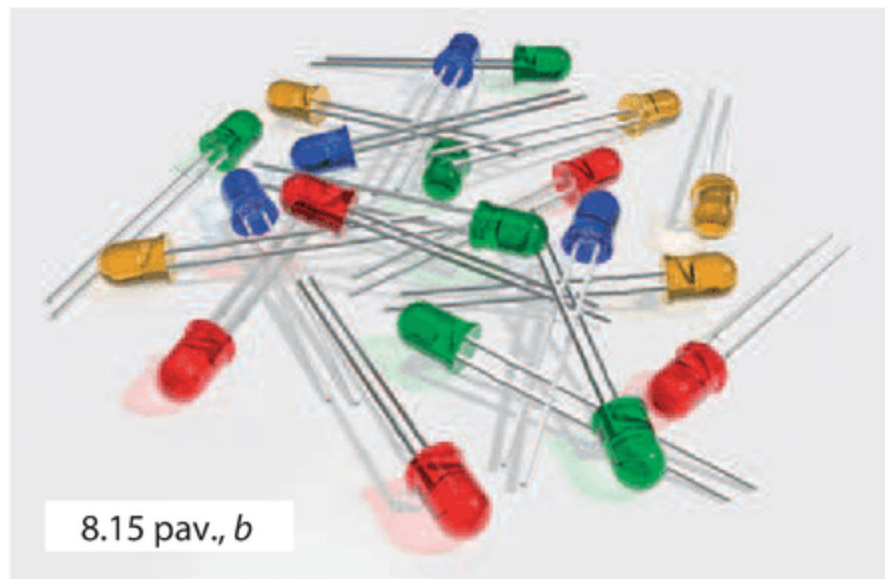
Šiuo metu puslaidininkiniai prietaisai naudojami praktiškai visose elektrotechnikos ir radiotechnikos srityse, matavimo technikoje ir kt. Nors šie prietaisai ir labai įvairūs, jų pagrindą sudaro įprastos skylinės–elektroninės sandūros arba keletas skylinių–elektroninių sandūrų sistemos. Vienas iš paprasčiausių puslaidininkinių prietaisų, turintis vieną sandūrą, yra **puslaidininkinis diodas** (8.15 pav., a). Jis yra labai ekonomišką, patikimas, mažų matmenų ir mažos masės (dėl to pranašesnis už vakuuminį diodą). Elektrinėse

schemose puslaidininkinis diodas žymimas simboliu  $\rightarrow$  (simbolio smailės kryptis sutampa su laidžiąja srovės kryptimi).

Dabar ypač paplito šviečiantys puslaidininkiniai diodai, vadinamieji **šviesos diodai**, arba trumpiau – LED (angl. *light emitting diode*) (8.15 pav., b). Srovei tekant jais laidžiąja kryptimi, šių diodų elektroninė–skylinė sandūra šviečia. Tokie diodai įtaisomi televizoriuose, kompiuterių monitoriuose ir pelėse (nedidelės raudonos arba žalios jų indikatorių švieselės), automobilių ži-



8.15 pav., a



8.15 pav., b



### Tai įdomu

★ Kai kurių medžiagų, pavyzdžiui, sidabro sulfido, puslaidininkinę savybę – elektrinio laidumo didėjimą kylant temperatūrai – dar 1833 m. pastebėjo Maiklas Faradėjus. Daugelis kitų puslaidininkiams būdingų savybių buvo atrasta XIX a. antrojoje pusėje.

★ Plačiau tirti ir naudoti puslaidininkius pradėta XX a. penktajame dešimtmetyje.

★ Lietuvoje puslaidininkių tyrimai pradėti 1950 m. Vilniaus universitete. Jų pradininkas buvo akademikas Povilas Brazdžiūnas. 1967 m. įsteigtas Puslaidininkių fizikos institutas, kuriame tiriamos

įvairios puslaidininkių savybės, kuriami nauji puslaidininkiniai prietaisai. Instituto mokslininkų veikla žinoma visame pasaulyje. 1977 m. jo mokslininkų Stepono Ašmonto, Juro Poželos ir Konstantino Repšo darbai pripažinti pirmuoju moksliniu atradimu Lietuvoje.

bintuose, šviesoforuose ir t. t. Jie apšviečia mobiliųjų telefonų ekranus ir klaviatūras. Šie įvairių spalvų šviesos šaltiniai yra nedideli, labai ekonomiškai, patvarūs, gali nepertrūkstamai veikti iki 10 metų.

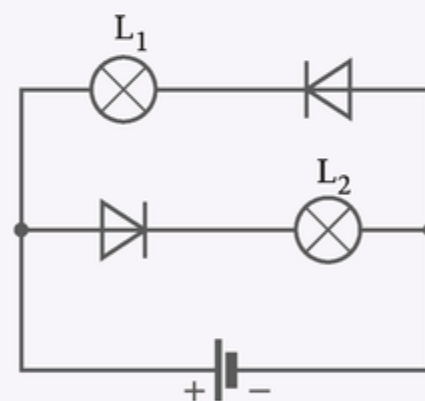
Minėjome, kad puslaidininkių varža labai priklauso nuo temperatūros. Šia jų savybe pagrįstas puslaidininkinio prietaiso, vadinamo **šiluminių varžų**, veikimas. Pagrindinis jo elementas yra puslaidininkis, jautrus temperatūros pokyčiams. Toks varžas, įjungtas į priešgaisrinės signalizaci-

jos sistemą, gali įspėti apie kilusį gaisrą, o įjungtas į elektrinę grandinę, kurios dalys gali perkaisti, – nutraukti srovę.

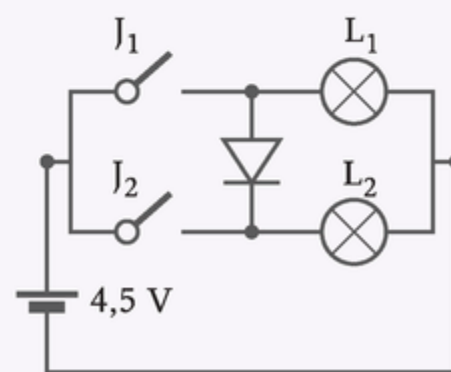
Dar viena puslaidininkių savybė – jų varžos priklausomybė nuo šviesos poveikio – taikoma prietaisuose, kurie vadinami **fotovaržais**. Apšvietus puslaidininkį, krūvininkų skaičius padidėja, o kartu sumažėja varža. Fotovaržai taikomi silpniems šviesos srautams registruoti, konvejeriuose detalėms skaičiuoti, gaminių paviršiaus kokybei tikrinti ir kt.

### Užduotys

1. Kokios medžiagos vadinamos puslaidininkiais?
2. Kokiomis sąlygomis šios medžiagos yra laidžios elektros srovei?
3. Kas yra krūvininkai grynuosiuose puslaidininkiuose?
4. Kas vyksta dviejų skirtingo laidumo puslaidininkių sandūroje?
5. Kodėl puslaidininkinė sandūra srovę praleidžia tik viena kryptimi?
6. Kuo puslaidininkiniai prietaisai pranašesni už elektronines lempas?
7. Kuri lemputė, įjungta į grandinę, sujungtą pagal 8.16 paveiksle pavaizduotą schemą, šviečia?
8. Ar švies lemputės  $L_1$  ir  $L_2$  (8.17 pav.), jei:
  - a) jungiklis  $J_1$  bus įjungtas, o jungiklis  $J_2$  – išjungtas;
  - b) jungiklis  $J_1$  bus išjungtas, o jungiklis  $J_2$  – įjungtas?



8.16 pav.



8.17 pav.



## Skyriaus „Elektros srovė įvairiose terpėse“ santrauka

Elektrolitai	Medžiagos, kurių vandeniniai tirpalai ar lydalai praleidžia elektros srovę, vadinamos elektrolitais.
Elektros srovė elektrolituose	Elektros srovė elektrolitų tirpaluose ir lydaluose yra kryptingas teigiamųjų ir neigiamųjų jonų judėjimas.
Elektrolizė	Medžiagos išsiskyrimas ant elektrodų, tekant elektros srovei elektrolitų tirpalais ar lydalais, vadinamas elektrolize.
Elektros išlydis	Elektros srovės tekėjimas dujomis vadinamas elektros išlydžiu. Elektros srovė dujose yra kryptingas teigiamųjų bei neigiamųjų jonų ir elektronų judėjimas.
Elektros srovė vakuume	Elektros srovė vakuume yra kryptingas elektronų judėjimas. Juos spinduliuoja įkaitęs metalinis elektrodas (katodas).
Vakuuminis diodas	Dviejų elektrodų elektroninė lempa vadinama vakuuminiu diodu.
Puslaidininkiai	Puslaidininkiais vadinamos medžiagos, kurios pagal elektrinį laidumą yra tarp elektros laidininkų ir izoliatorių.
Elektros srovė puslaidininkiuose	Grynuosiuose puslaidininkiuose elektros srovę sukelia vienodas skaičius laisvųjų elektronų ir skylių. Iš atomo išorinio sluoksnio išlėkus elektronui, atome lieka laisva vieta, kurią gali užimti kitas elektronas. Ji vadinama skylė. Į puslaidininkį įterpus priemaišų (kitų cheminių elementų atomų), gaunamas puslaidininkis, kuriame vyrauja teigiamieji arba neigiamieji krūvininkai.
Skylinė-elektroninė sandūra	Skylinio ir elektroninio laidumo puslaidininkių kontaktas vadinamas skyline-elektronine sandūra. Ji praleidžia elektros srovę tik viena kryptimi.
Puslaidininkinis diodas	Puslaidininkiniu diodu vadinamas prietaisas, turintis vieną skylinę-elektroninę sandūrą.

# Savikontrolės užduotys

1. Kas sudaro elektros srovę tirpaluose?

**A** Kryptingai judantys laisvieji elektronai ir skylės.

**B** Kryptingai judantys teigiamieji jonai ir laisvieji elektronai.

**C** Kryptingai judantys teigiamieji bei neigiamieji jonai ir elektronai.

**D** Kryptingai judantys teigiamieji ir neigiamieji jonai.

2. Kai srovė teka vario sulfato tirpalu, ant vienos plokštelės išsiskiria grynas varis, o kai ji teka varine viela – neišsiskiria. Kodėl?

3. Kaip vadinamas dujų neutralių molekulių ar atomų virsmas jonais?

**A** Elektrolize.

**B** Termoelektronine emisija.

**C** Dujų jonizacija.

**D** Dujų konvekciija.

4. Kokiomis sąlygomis įmanomas dujų neutralių molekulių ar atomų virsmas jonais?

5. Kokie krūvininkai sukuria elektros srovę vakuume?

**A** Kryptingai judantys teigiamieji jonai ir laisvieji elektronai.

**B** Kryptingai judantys laisvieji elektronai.

**C** Kryptingai judantys teigiamieji ir neigiamieji jonai.

**D** Kryptingai judantys teigiamieji bei neigiamieji jonai ir elektronai.

6. Kuriuo atveju, įjungus jungiklį, elektros srovė grandine netekės?

**A** 8.18 pav., a.      **B** 8.18 pav., b.

**C** 8.18 pav., c.      **D** 8.18 pav., d.

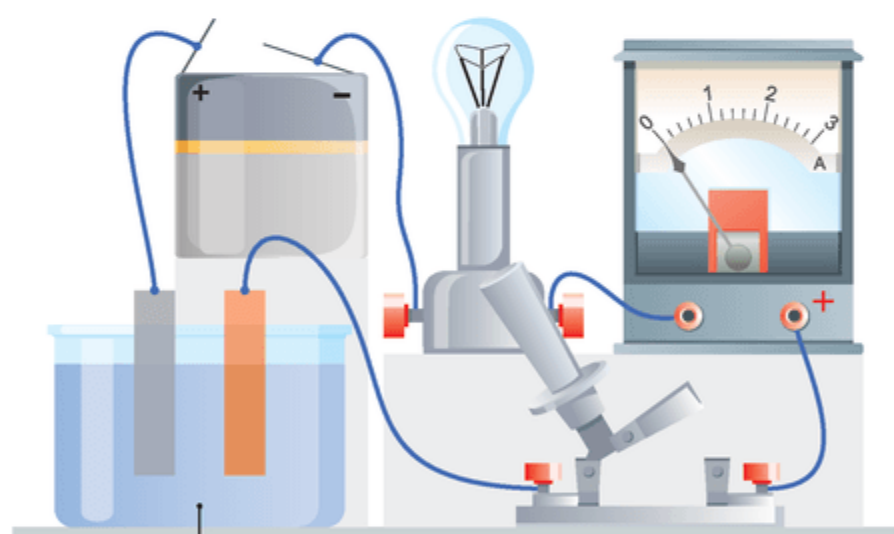
7. Kuris pavyzdys atspindi elektros srovės tekėjimo dujomis taikymą?

**A** Santechninių detalių chromavimas.

**B** Nusivelkamo megztinio kibirkščiavimas.

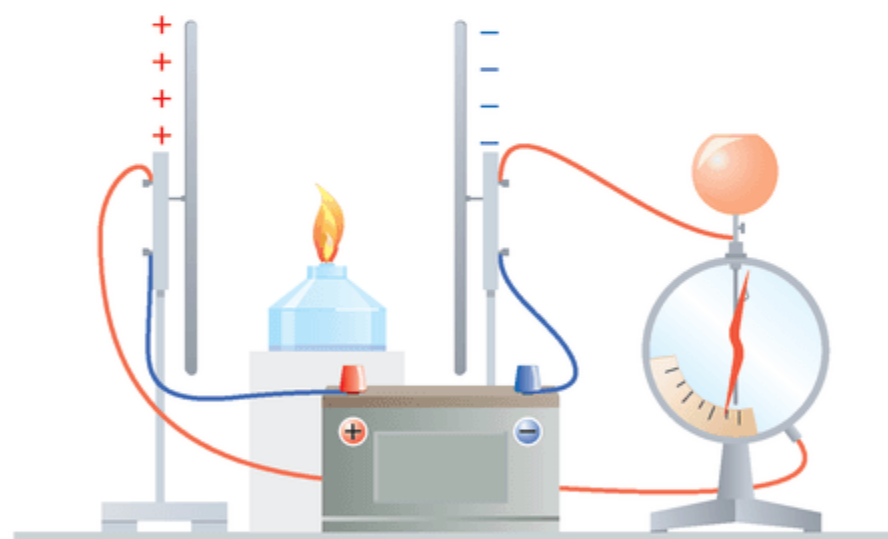
**C** Kintamosios srovės lyginimas diodu.

**D** Šviesos srauto registravimas fotovaržu.

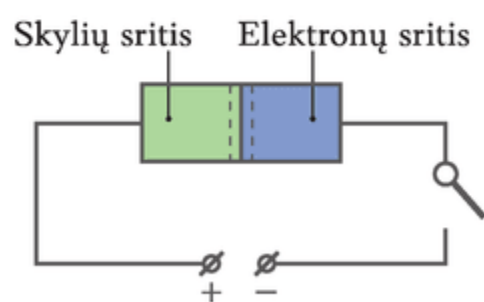


Vario sulfatas

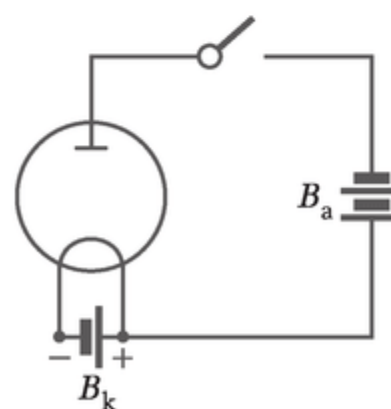
8.18 pav., a



8.18 pav., b



8.18 pav., c



8.18 pav., d





# E L E K T R A

## 9 Elektromagnetiniai reiškiniai

Šiame skyriuje susipažinsite su:

- magnetinio lauko sąvoka;
- nuolatiniais magnetais (strypiniais ir pasagiškuoju);
- elektromagnetais;
- elektros variklio veikimo principu.

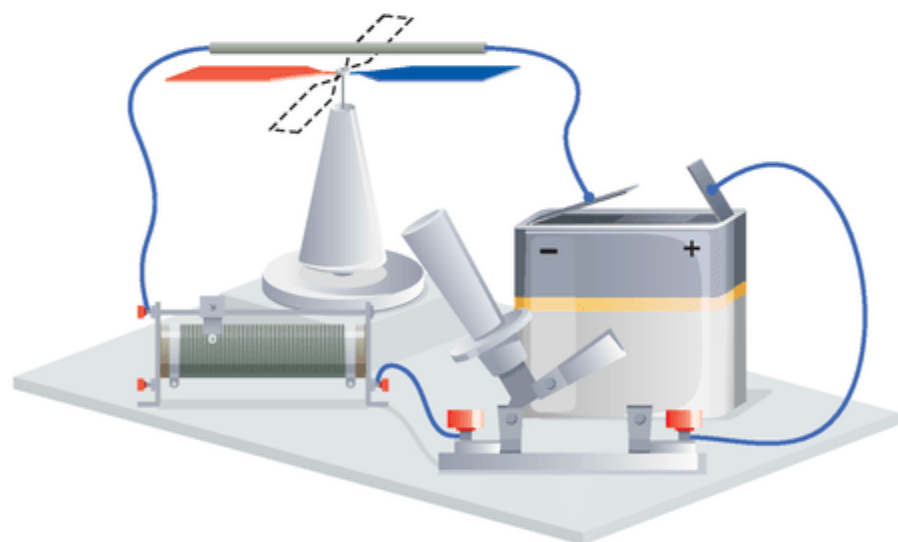
# 9.1. Elektros srovės magnetinis laukas

## Magnetinis laukas

4.2 skyrelyje sužinojome, kad erdvėje aplink nejudančius elektros krūvininkus yra elektrinis laukas. Panašiai aplink laidininkus, kuriais teka elektros srovė, t. y. aplink judančius krūvininkus, yra dar ir **magnetinis laukas**. Tai – tam tikros formos materija, kuria judantys krūvininkai (elektros srovė) perduoda savo poveikį. Atliksime kelis bandymus.

**1 bandymas.** Sujunkime elektrinę grandinę, kaip parodyta 9.1 paveiksle, o šalia tiesaus laidu padėkime magnetinę rodyklę. (Ji yra jums jau žinomo prietaiso – kompas – pagrindinė dalis.) Įjunkime jungiklį. Laidu ima tekėti elektros srovė ir magnetinė rodyklė nukrypsta nuo pradinės padėties, pasisuka taip, kad būtų statmena laidui (brūkšninė rodyklės padėtis). Kai jungiklį išjungiame, rodyklė grįžta į pradinę padėtį. Šį bandymą 1820 m. pirmasis atliko danų fizikas Hansas Kristianas Erstedas (*Oersted*, 1777–1851).

**2 bandymas.** Izoliuotos vielos ritę su geležine šerdimi (t. y. strypu, įstatytu į ritę) įjunkime į elektrinę grandinę, kaip parodyta 9.2 paveiksle.

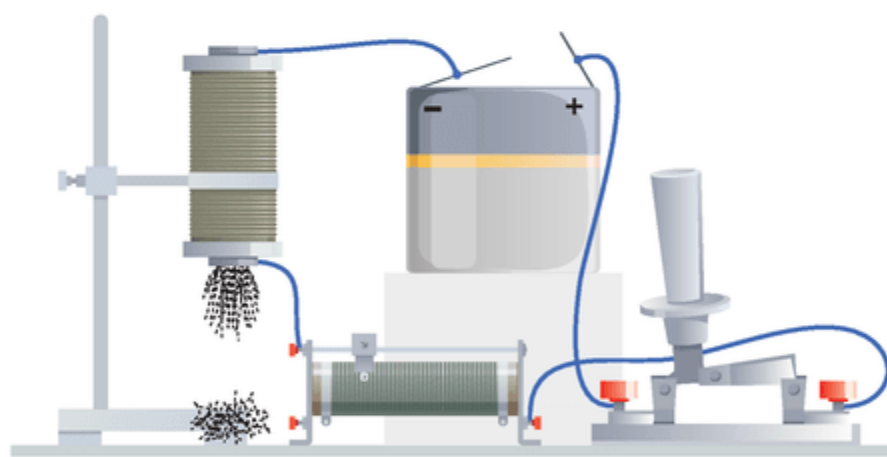


9.1 pav.

Ritė pradeda tekėti elektros srovė ir ritė ima traukti šalia jos padėtas smulkias geležėles (vintutes, veržles, varžtelius). Vadinasi, ritė tampa magnetu. Kai jungiklis neįjungtas, srovė grandinė neteka ir ritė geležėlių netraukia (prilipusios geležėlės nukrinta).

Abu šie bandymai rodo, kad tarp laidininko, kuriuo teka elektros srovė (t. y. tarp judančių krūvininkų) ir magnetinės rodyklės bei geležėlių atsiranda sąveikos jėgos. Tokios jėgos veikia ir tarp dviejų laidininkų, kuriais elektros srovei leidome tekėti ta pačia kryptimi ir priešingomis kryptimis (žr. 5.2 pav.). Jos vadinamos **magnetinėmis jėgomis**. Šių jėgų šaltinis – magnetinis laukas, esantis aplink kiekvieną laidininką, kuriuo teka elektros srovė. Būtent jo veikiamą magnetinę rodyklę pakrypo, o ritės šerdis traukė geležinius daiktus.

Taigi **aplink nejudančius elektros krūvininkus yra tik elektrinis laukas, o aplink judančius (elektros srovę) – ir elektrinis, ir magnetinis laukas**.



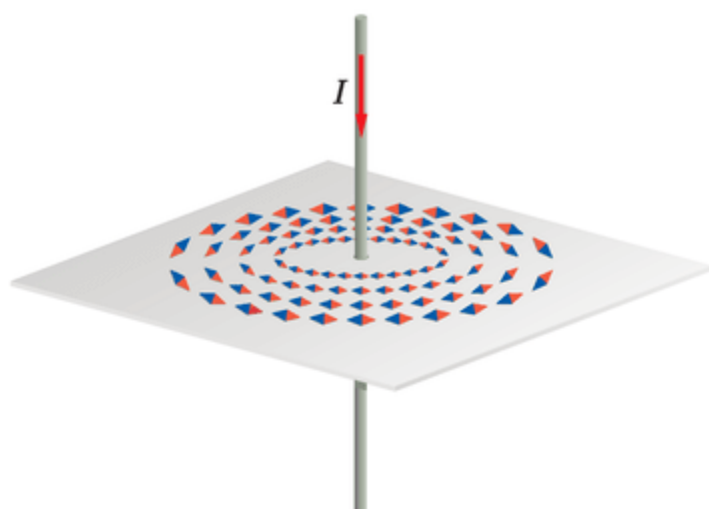
9.2 pav.

## Magnetinio lauko jėgų linijos

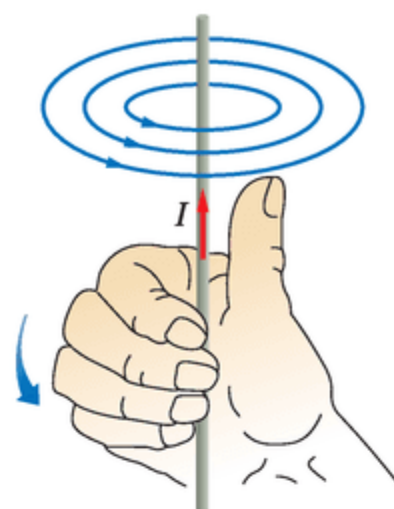
Detaliau magnetinį lauką galima ištirti naudojant geležies pjuvenas. Magnetiniame lauke jos įsimagnetina ir virsta mažomis magnetinėmis rodyklėmis.

**3 bandymas.** Atlikime bandymą, panašų į 1-ąjį. Tik dabar tiesų grandinės laidą perverškime per kartono lapą ir laikykime vertikaliai. Ant kartono paberkime geležies pjuvenų arba





9.3 pav.



9.4 pav.

išdėliokime daug mažų magnetinių rodyklių. Įjunkime jungiklį. Pjuvenos arba magnetinės rodyklės išsidėstys aplink tiesų laidą koncentriniais (turinčiais bendrą centrą) apskritimais (9.3 pav.).

**Uždaros linijos, išilgai kurių magnetiniame lauke išsidėsto magnetinės rodyklės, vadinamos magnetinio lauko jėgų linijomis, arba trumpiau – magnetinėmis linijomis.** Šių linijų kryptimi susitarta laikyti kryptį, kurią rodo magnetinės rodyklės šiaurės polius, žymimas raide N (angl. *North* – šiaurė). Rodyklės pietų polius žymimas S (angl. *South* – pietūs).

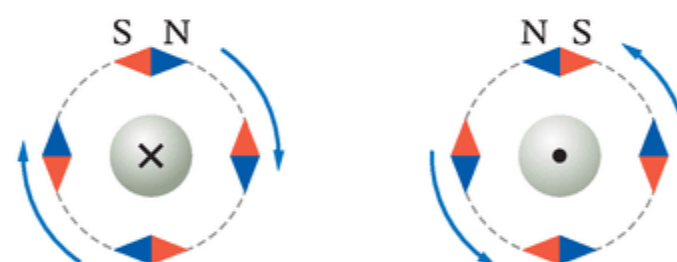
Magnetinio lauko jėgų linijų kryptis susijusi su srovės kryptimi laidininke. Tuo įsitikintume pakeitę srovės kryptį pervertame per kartono lapą tiesiam laidu (žr. 3 bandymą). Ant kartono išdėliotų magnetinių rodyklių padėtis pasikeistų. Kiekviena rodyklė pasisuktų  $180^\circ$  kampu. Tai rodo, kad magnetinių linijų kryptis pasidarė priešinga. Magnetinių linijų krypties ir elektros srovės krypties ryšį galima nusakyti vadinamąja **dešinės rankos taisyklė: jei laidininką, kuriuo teka elektros srovė, apimsime dešine ranka taip, kad ištiestas nykštys rodytų srovės kryptį, tai kiti keturi pirštai rodys magnetinių linijų kryptį** (9.4 pav.).

Brėžinio plokštumai statmenu laidininku tekančios srovės kryptis dažnai vaizduojama strėle. Kai srovė teka nuo mūsų (9.5 pav., a), rašome ženklą  $\otimes$  (tarsi žymėtume tolstančios strėlės uodegą), kai į mus (9.5 pav., b) – ženklą  $\odot$  (vaizduojantį atlekiančios strėlės smaigalį). Rodyk-

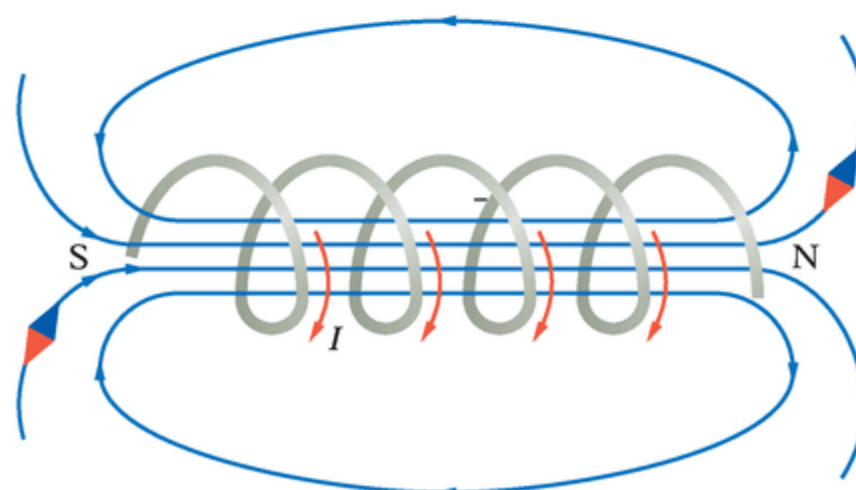
lėmis pažymėta aplink laidininką susidariusio magnetinio lauko jėgų linijų kryptis.

9.6 paveiksle pavaizduotos ritės, su kuria atlikome 2 bandymą, magnetinio lauko jėgų linijos. Kaip žinome, ritė, kuria teka elektros srovė, tarsi virsta magnetu. Vadinasi, ji, kaip ir magnetinė rodyklė, turi du polius: šiaurės N ir pietų S. Ritės magnetinės linijos nukreiptos iš šiaurės poliaus į pietų.

Magnetinio lauko vaizdavimas jėgų linijomis yra tik šio lauko modelis.



9.5 pav., a



9.6 pav.



### Tai įdomu

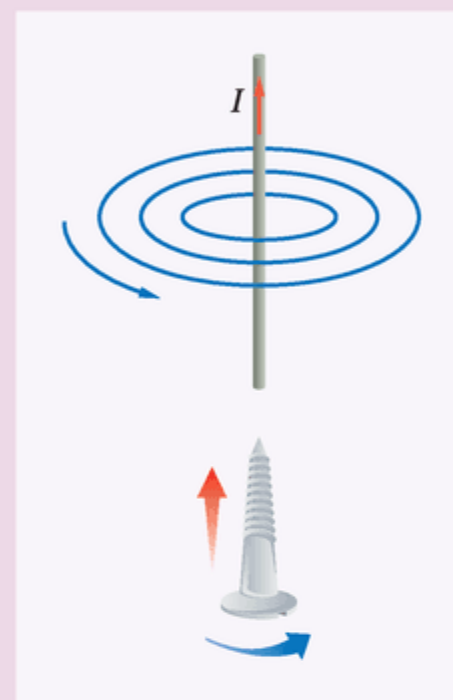
✳ 1820 m. Kopenhagos universiteto fizikos auditorijoje studentai susirinko į profesoriaus Hanso Kristiano Erstedo paskaitą apie šilumos ir elektros ryšį. Profesorius paprašė įjungti elektros srovę iš Voltos elementų baterijos. Srovė tekėjo plona platinine viela, kuri greitai įkaito. Erstedas aiškino reiškinių ir atsitiktinai pastebėjo, kad kryptelėjo netoli vielos kabojusi magnetinė rodyklė. Iš karto šiam reiškiniui mokslininkas neteikė reikšmės, nes manė, kad tai susiję su platininės vielos temperatūra. Vėliau jis bandymą tęsė su storesne viela, kuri įkaito ne taip smarkiai. Ir šįkart intuityviai žvilgtelėjo į rodyklę – ji vėl pakrypo į šoną. Išjungus srovę, rodyklė grįžo į pradinę padėtį, nors laidininkas dar buvo įkaitęs. Kai studentai išėjo iš salės, Erstedas pakar-

tojo bandymą keletą kartų, vis stebėdamas rodyklės nuokrypį. Kitą dieną bandymą atliko iš naujo su dvidešimčia Voltos elementų, ir efektas buvo dar ryškesnis. Šį bandymą 1820 m. Erstedas aprašė lotynų kalba straipsnyje „Elektros srovės poveikio magnetinei rodyklei bandymai“. Bandymo esmę jis nusakė taip: „Galvaninė elektra, tekėdama iš šiaurės į pietus virš laisvai kabančios magnetinės rodyklės, jos šiaurės polių nukreipia į rytus. Tekėdama ta pačia kryptimi po rodykle, šiaurės polių nukreipia į vakarus.“

✳ Vilniaus universiteto fizikas Jurgis Karolis Skrodskis dar 1817 m. rašė, kad laidininkas, kuriuo teka elektros srovė, veikia kompas rodyklę panašiai kaip magnetas. Deja, ši žinia laiku nepateko į Vakarų Europos mokslo

centrus ir atradimas buvo pripažintas Erstedui.

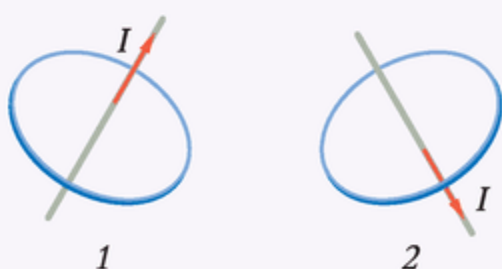
✳ Magnetinio lauko jėgų linijų kryptį galima nustatyti ir pagal **srąigto taisyklę**: jei sukamas sraigtas slenka srovės tekėjimo kryptimi, tai jo sukimosi kryptis rodo magnetinio lauko jėgų linijų kryptį (9.7 pav.).



9.7 pav.

### Užduotys

1. Paaiškinkite, kaip suprantate, kas yra magnetinis laukas.
2. Kokių sąlygų reikia, kad aplink elektros krūvininkus visada būtų elektrinis ir magnetinis laukas?
3. Ar galima kompasu nustatyti, kad laidininku teka elektros srovė? Jei galima, tai kaip sužinoti jos kryptį?
4. Kokia yra magnetinio lauko jėgų linijų kryptis 9.8 paveiksle pavaizduotais atvejais? Persibraižę brėžinį savo sąsiuvinyje, pažymėkite ją rodykle.
5. Persibraižykite sąsiuvinyje 9.9 paveiksle pavaizduotus laidininkus. Atsižvelgdami į magnetinio lauko jėgų linijų kryptį, nurodykite šiais laidininkais tekančios elektros srovės kryptį.



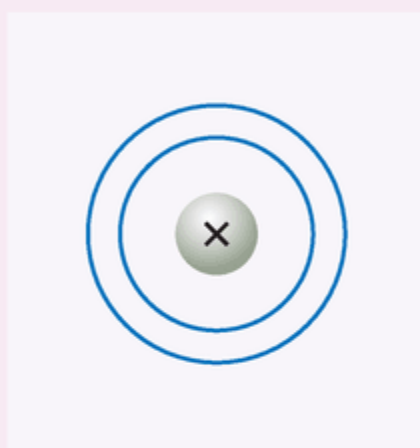
9.8 pav.



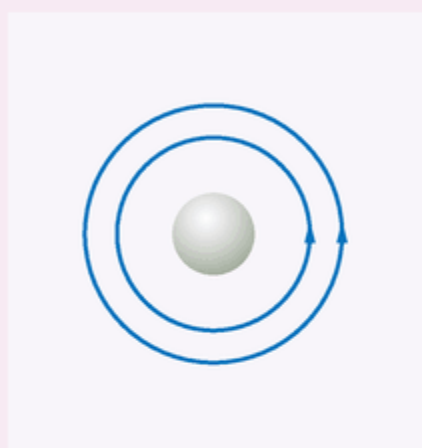
9.9 pav.



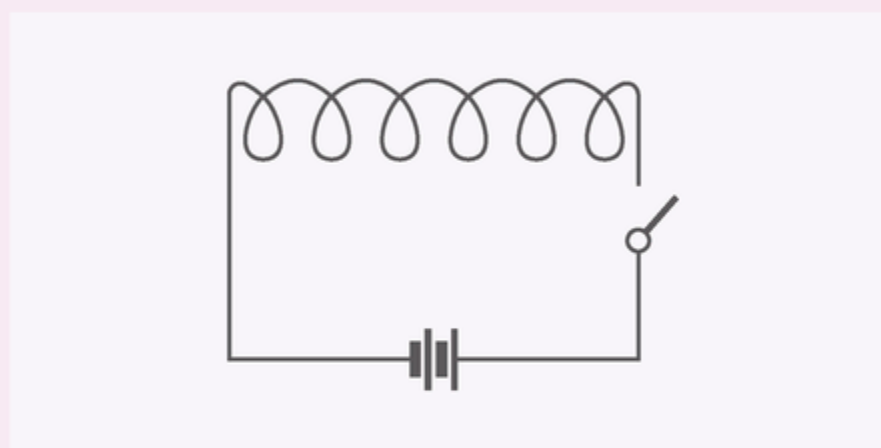
6. 9.10 paveiksle pavaizduotas laidininkas ir nurodyta juo tekančios elektros srovės kryptis. Persibraižę brėžinį savo sąsiuvinyje, pažymėkite magnetinio lauko jėgų linijų kryptį.
7. 9.11 paveiksle – laidininko skerspjūvis ir aplink laidininką susidariusio magnetinio lauko jėgų linijos. Persibraižykite brėžinį savo sąsiuvinyje ir nurodykite laidininku tekančios elektros srovės kryptį.
8. Kurį magnetinės rodyklės polių atstums 9.12 paveiksle pavaizduotos ritės kairysis galas, kai ja ims tekėti elektros srovė?
- 9\*. Atliekant Erstedo bandymą, magnetinės rodyklės pakrypo priešingomis kryptimis (9.13 pav.). Kodėl? Nurodykite magnetinio lauko jėgų linijų ir laidininku tekančios srovės kryptis.
- 10\*. Persibraižykite sąsiuvinyje laidininką (9.14 pav.) ir aplink jį pažymėkite magnetinio lauko jėgų linijų (nubrėždami jas per nurodytus taškus) kryptis. Raudona rodyklė rodo laidininku tekančios elektros srovės kryptį.
- 11\*. Viena rite teka 3 A stiprio srovė, kita tokia pat rite – 1,5 A stiprio srovė. Katros ritės viduje magnetinis laukas stipresnis?



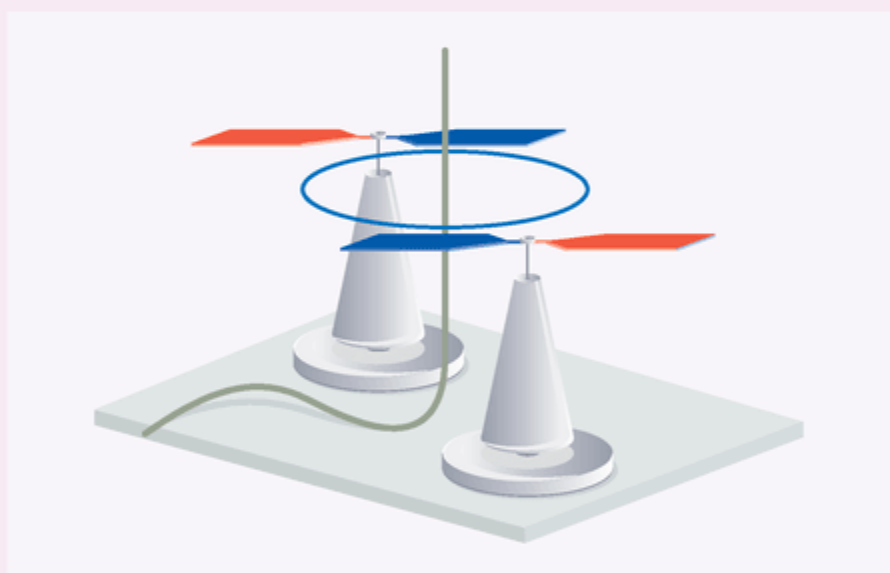
9.10 pav.



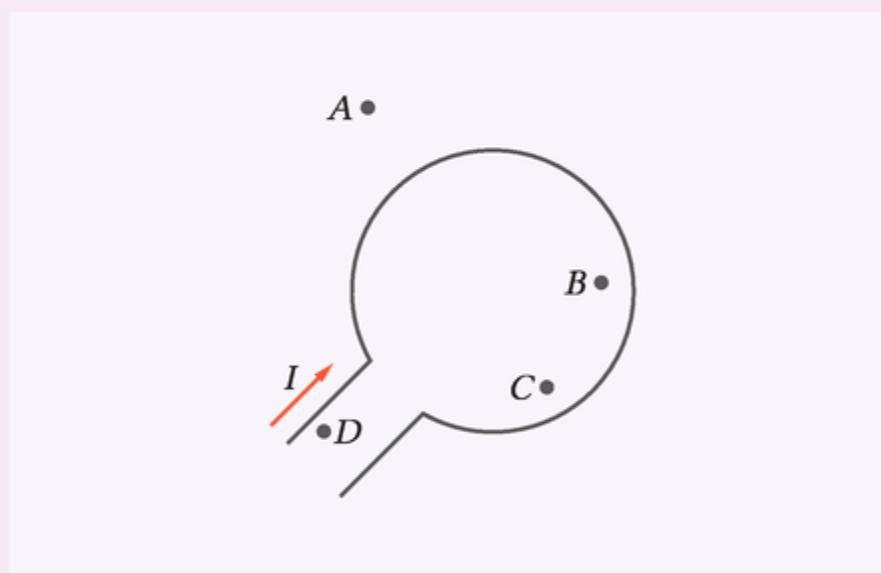
9.11 pav.



9.12 pav.



9.13 pav.



9.14 pav.

## 8-asis laboratorinis darbas

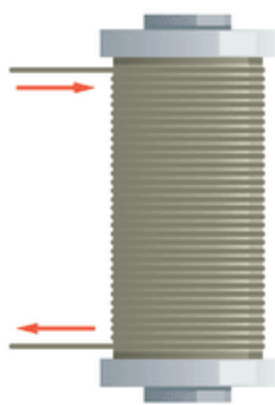
### Elektromagneto surinkimas ir išbandymas

## Elektromagnetas

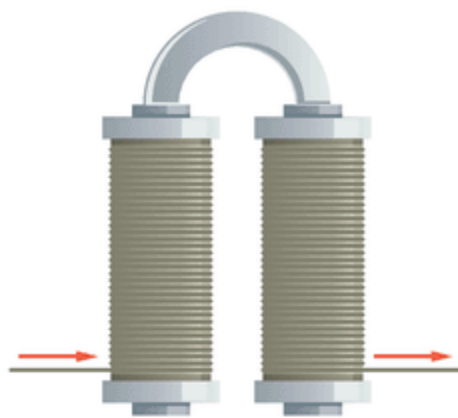
Ritė, kurios viduje yra geležinė šerdis, vadinama **elektromagnetu**. Kai tokia rite teka elektros srovė, elektromagneto šerdis įsimagnetina ir su-

stiprina ritės sukurtą magnetinį lauką. Išjungus srovę, šios magnetinės savybės išnyksta (šerdis turi būti pagaminta iš specialios geležies).

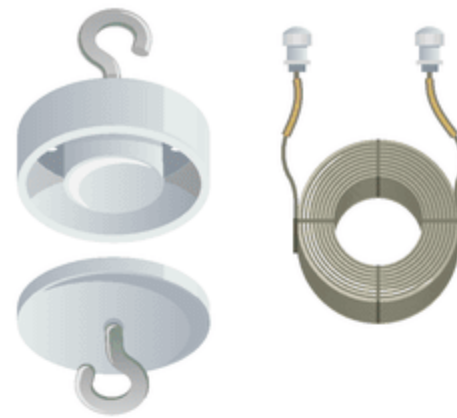




9.15 pav., a



9.15 pav., b



9.15 pav., c

Elektromagneto magnetinis poveikis priklauso nuo juo tekančios srovės stiprio. Kuo stipresnė srovė teka rite, tuo stipresnis jos magnetinis laukas. Vadinasi, keičiant srovės stiprį ritėje, galima reguliuoti elektromagneto magnetinį veikimą. Dėl to elektromagnetai plačiai naudojami technikoje. Jais perkeliama krovinių, valomi grūdai, elektromagnetai montuojami telefonuose, elektriniuose skambučiuose ir kt.

Pagal šerdies formą elektromagnetai skirstomi į strypinius, pasagiškuosius, cilindrinus (9.15 pav.) ir t. t. 9.16 paveiksle parodytas didelės keliamosios galios elektromagnetas.



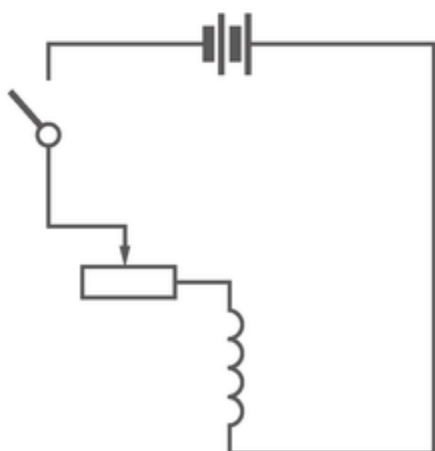
9.16 pav.

*Priemonės:* 1) kišeninio žibintuvėlio baterija; 2) ritė; 3) geležinė ritės šerdis; 4) reostatas; 5) jungiklis; 6) jungiamieji laidai; 7) kompasas; 8) keletas sąvaržėlių, vinučių ir varžtelių; 9) trintukas;

10) kamštis; 11) plastikinė liniuotė; 12) keli maži akmenukai; 13) medžio gabaliukas.

### *Darbo eiga*

1. Pagal 9.17 paveiksle pavaizduotą elektrinę schemą sujunkite grandinę.



9.17 pav.

2. Įjunkite jungiklį ir kompasu nustatykite ritės (elektromagneto) magnetinius polius.

3. Pakeiskite srovės kryptį grandinėje ir vėl nustatykite elektromagneto magnetinius polius. Parašykite, ką pastebėjote.

4. Įkiškite į ritę geležinę šerdį ir stebėkite, kaip elektromagnetas veikia kompasą rodyklę. Aprašykite savo pastebėjimus.

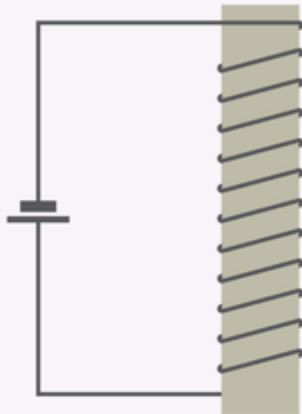
5. Reostatu reguliuokite srovės stiprį grandinėje ir stebėkite, kaip elektromagnetas veikia kompasą. Padarykite išvadą.

6. Patikrinkite, kaip elektromagnetas traukia iš įvairių medžiagų padarytus kūnus: sąvaržėles, geležines vinutes, varžtelius, trintuką, kamštį, plastikinę liniuotę, medžio gabaliuką, akmenukus ir t. t.

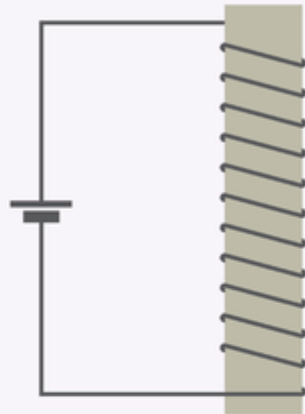


## Užduotys

1. Ar galima iš neizoliuotos vielos pagaminti elektromagneto ritę?
2. Kaip galima sustiprinti ritės magnetinį lauką?

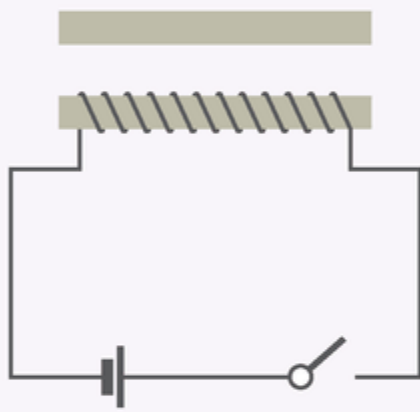


9.18 pav., a

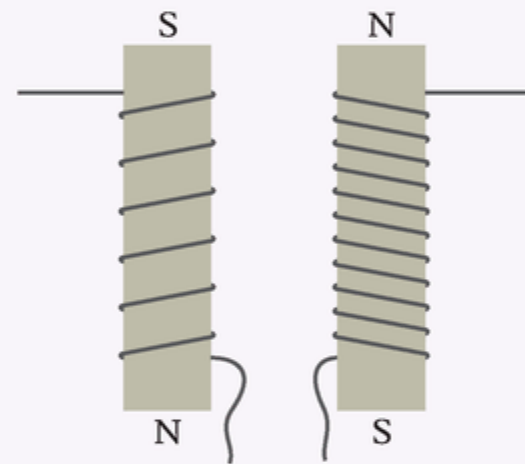


9.18 pav., b

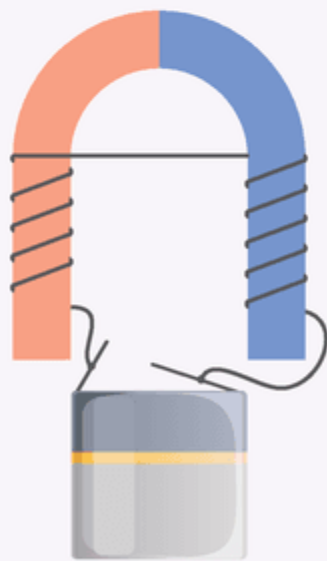
3. Nurodykite 9.18 paveiksle pavaizduotų elektromagnetų magnetinius polius.
4. Ar, sujungus grandinę, įsimagnetina abu geležiniai strypai (9.19 pav.)?
5. Kaip apvynioti geležinį virbą laidu, kad, tekant juo srovei, virbas neįgytų magnetinių savybių?
6. 9.20 paveiksle pavaizduoti elektromagneto poliai. Prie ričių prijunkite srovės šaltinį, o ričių galus sujunkite vieną su kitu taip, kad elektromagneto poliai būtų tokie, kokie nurodyti brėžinyje.
- 7\*. Pažymėkite elementų baterijos polius ir srovės kryptį grandinėje (9.21 pav.).
- 8\*. Nurodykite pasagiškojo elektromagneto polius (9.22 pav.).



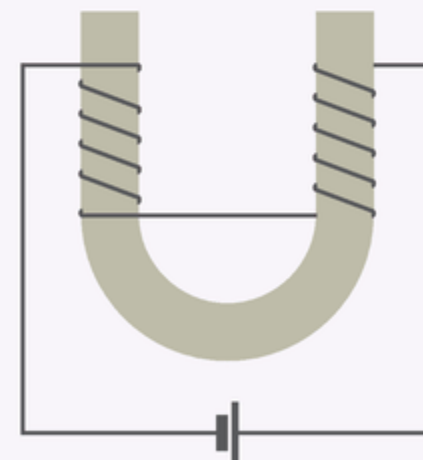
9.19 pav.



9.20 pav.

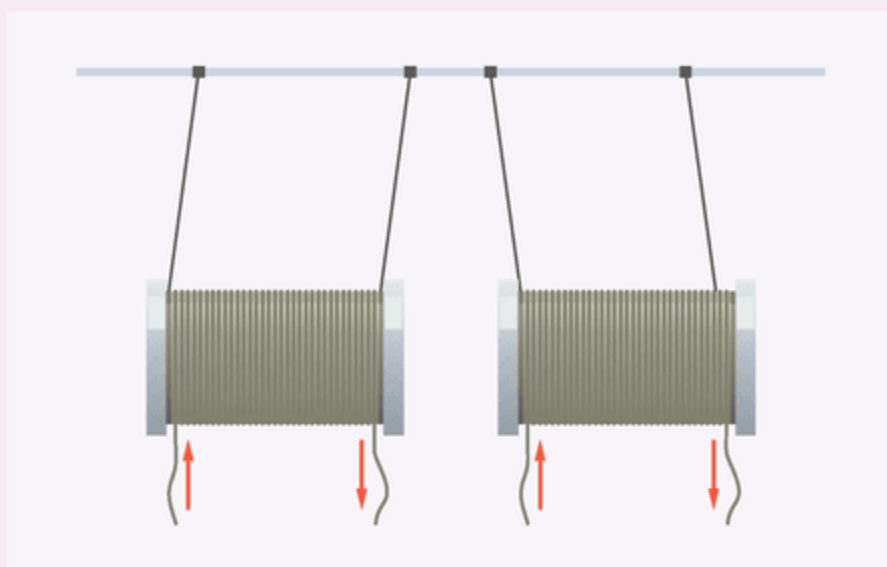


9.21 pav.



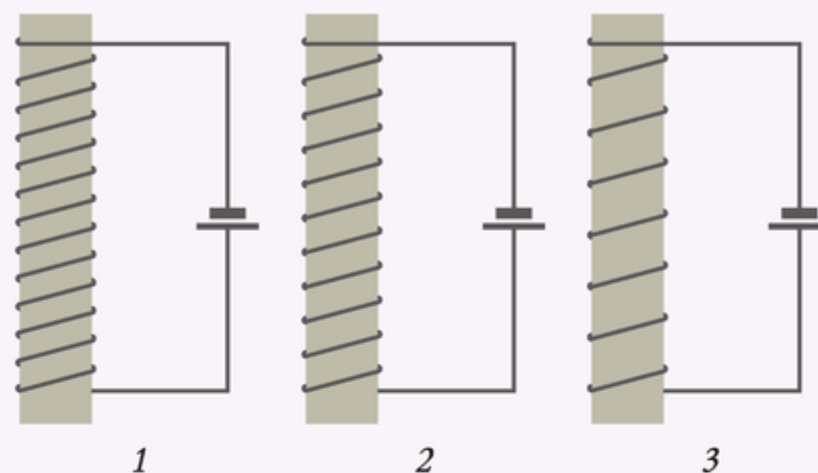
9.22 pav.

- 9\*. Ant plonų vielų pakabintos dvi ritės (9.23 pav.). Kodėl jos artėja ar tolsta viena nuo kitos, kai jomis leidžiama elektros srovė?



9.23 pav.

- 10\*. 9.24 paveiksle pavaizduotais elektromagnetais teka vienodo stiprio elektros srovė. Kuris iš jų gali pakelti didžiausią krovinį?



9.24 pav.

## 9.2. Nuolatiniai magnetai

... dabar pasakysiu, kuriuo gi dėsniu gamtos akmuo prie savęs gali geležį traukti.

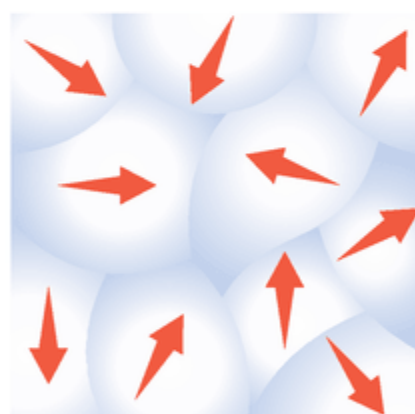
Graikai šį akmenį tad magnetu pavadino dėl jojo atsiradimo iš ten, kur gyvena magnetų tautelė.

Lukrecijus (I a. pr. Kr.). „Apie daiktų prigimtį“

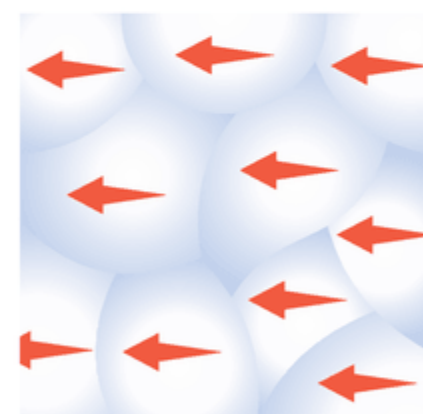
### Magnetinės medžiagos

Elektromagneto geležinė šerdis, nustojus rite tekėti elektros srovei, tuoj pat išsimagnetina ir nebetraukia geležinių daiktų. Tačiau jeigu vietoj geležinės šerdies į ritę įkištume iš specialios rūšies plieno padarytą strypą, jis, išjungus elektros srovę, dar ilgai būtų įmagnetintas. Kūnai, kurie ilgai neišsimagnetina, vadinami **nuolatiniais magnėtais**, arba tiesiog **magnėtais**. Tokių savybių turi medžiagos, vadinamos **feromagnėtikais** (lot. *ferrum* – geležis, gr. *magnetikos* – magnetinis). Prie jų priskiriama geležis, nikelis, kobaltas.

Kodėl šios medžiagos lieka įsimagnetinusios? Prancūzų mokslininkas Andrė Mari Amperas (*Ampere*, 1775–1836) iškėlė hipotezę, kad medžiagos viduje cirkuliuoja mažytės elektros sro-



9.25 pav., a



9.25 pav., b

vės. Jas sukelia aplink atomų branduolius skriejantys elektronai. Judėdami jie sukuria magnetinius laukus. Dėl elektronų sąveikos medžiagoje susidaro skirtingai įsimagnetinusios sritys (9.25 pav., a) – **domėnai** (pranc. *domaine* – valda). Įvairiai nukreipti jų magnetiniai laukai vienas kitą naikina ir medžiaga magnetinių savybių

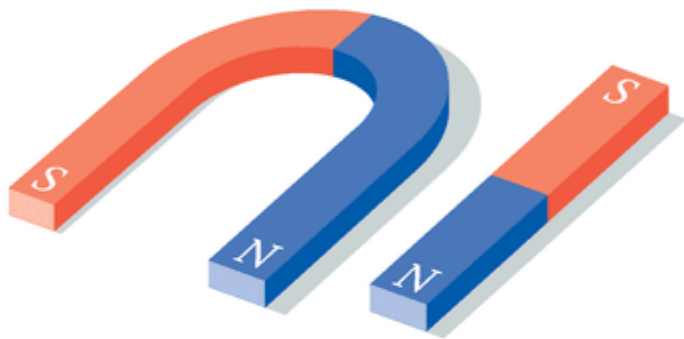


neturi. Kai tokia medžiaga patenka į magnetinį lauką, pavyzdžiui, ritės, kuria teka srovė, domėnų įsimagnetinimas suvienodėja (jų magnetiniai

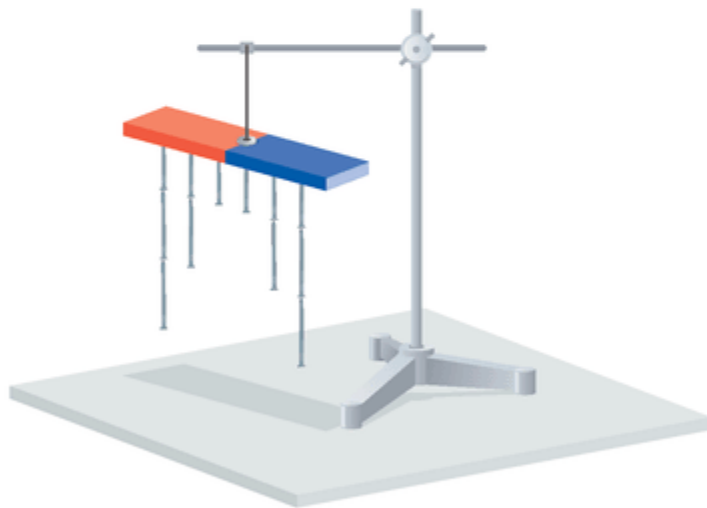
laukai orientuojami maždaug ta pačia kryptimi; 9.25 pav., *b*) ir visas medžiagos gabalas virsta nuolatinio magnetu.

## Nuolatinio magneto poliai

Nuolatiniai magnetai, kaip ir elektromagnetai, būna įvairių formų (9.26 pav.): strypiniai, pasagiškieji ir t. t. Artindami magnetą prie daiktų, pagamintų iš įvairių medžiagų, galime nustatyti, kad jis traukia ne visus daiktus. Pavyzdžiui, magnetas gerai traukia plieną, ketų, geležį, prasčiau – nikelį ir kobaltą, o stiklo, popieriaus ar plastiko visai neveikia. Nevienodai stipriai jis traukia ir tą patį geležinį daiktą, priartintą prie magneto iš įvairių jo pusių.



9.26 pav.

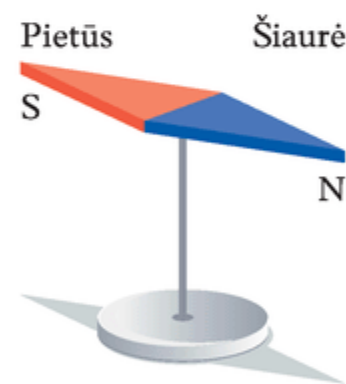


9.27 pav.

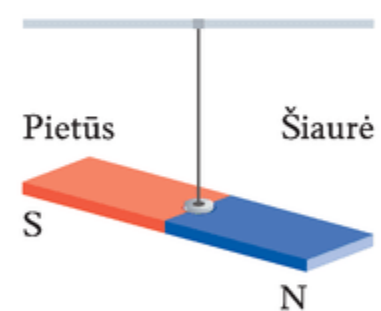
**1 bandymas.** Strypinį magnetą horizontaliai įtvirtinkime stovė. Vienodais atstumais „kabinime“ prie jo geležines vinutes (9.27 pav.). Daugiausia jų išlaiko magneto galai, mažiausiai – vidurinė magneto dalis. Vadinasi, geležį stipriausiai traukia magneto galai.

Tos magneto sritys, kuriose magnetinis poveikis reiškiasi stipriausiai (magneto galai), vadinamos **magnėtiniais poliais**. Nuolatinis magnetas, kaip ir ritė, kuria teka elektros srovė, turi du magnetinius polius: **šiaurės** (N) ir **pietų** (S). Jų perskirti neįmanoma. Jeigu magnetą perpjautume pusiau, kiekviena pusė turėtų du polius ir būtų naujas magnetas, tik perpus mažesnis. Paprasčiausias nuolatinis magnetas yra jau žinoma magnetinė rodyklė.

**2 bandymas.** Magnetinę rodyklę pastatykime ant stalo. Jos šiaurės magnetinis polius rodytų šiaurę, o pietų magnetinis polius – pietus (9.28 pav., *a*). Pakabinkime laisvai strypinį magnetą. Vienas jo galas nukryps į šiaurę, kitas – į pietus (9.28 pav., *b*).



9.28 pav., *a*

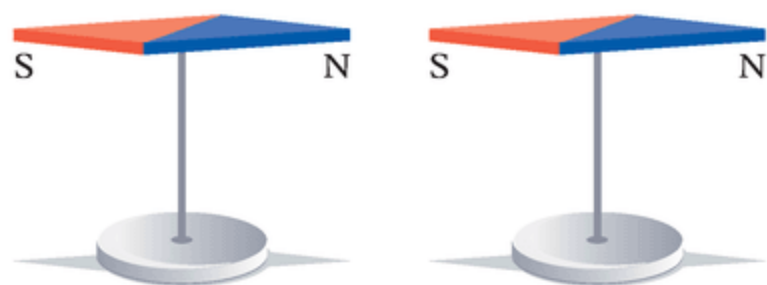


9.28 pav., *b*

## Magnetų sąveika ir magnetinės linijos

**3 bandymas.** Artinkime vieną prie kitos dvi magnetines rodykles. Kad ir kaip jas sukiosime, jos visada sustos viena priešais kitą priešingais poliais (9.29 pav.).

Galima padaryti tokią išvadą: **įvairiavardžiai magnetų poliai vienas kitą traukia, o vienavardžiai stumia**. Tikriausiai teko tai pastebėti mėginant suartinti du šaldytuvo magnetukus. Ar-

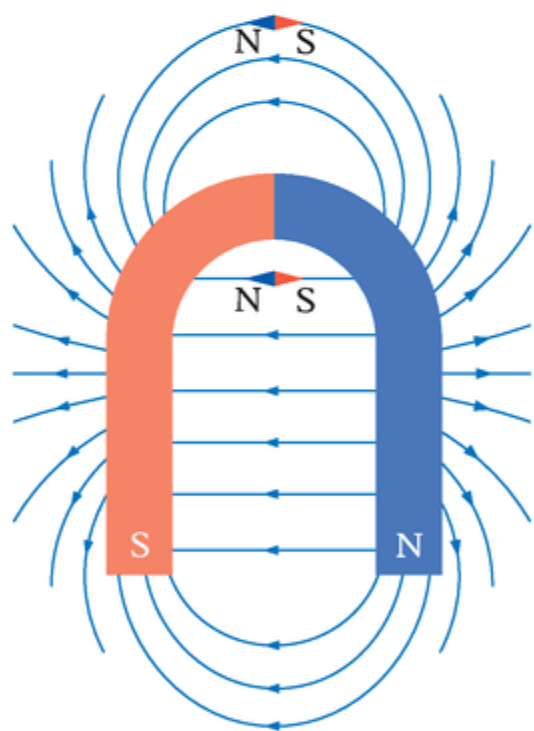


9.29 pav.

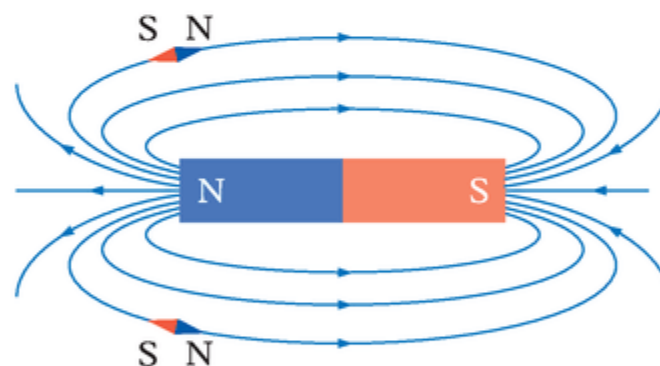
tindami juos ta pačia puse, pajuntame stiprią stūmą. Magnetai sąveikauja dėl to, kad aplink juos yra magnetinis laukas. Vieno magneto magnetinis laukas veikia kitą magnetą ir atvirkščiai.

**4 bandymas.** Ant stiklinės plokštelės pabarsykime geležies pjuvenų ir iš apačios prie jos artinkime įvairius nuolatinius magnetus. Pjuvenos išsidėstys tam tikromis linijomis, kurios vaizduos magnetų magnetinius laukus.

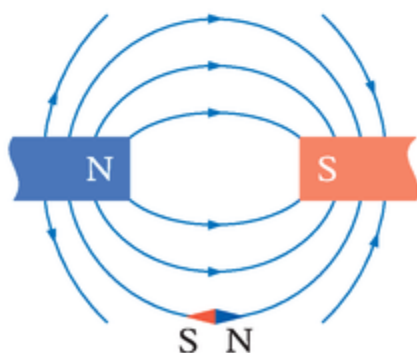
9.30 paveiksle parodyti įvairių magnetų magnetiniai laukai: *a* – pasagiškojo magneto, *b* – strypinio magneto, *c*, *d* – dviejų sąveikaujančių magnetų. Visų šių laukų, kaip ir srovės magnetinio lauko, magnetinės linijos yra uždaros kreivės. Jos eina iš magneto šiaurės poliaus į pietų polių ir magneto viduje susijungia.



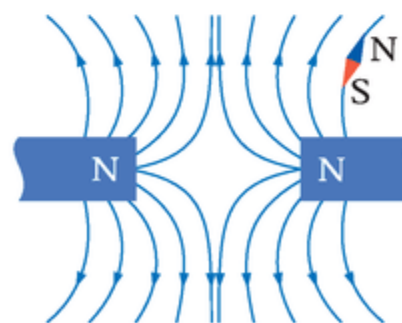
9.30 pav., *a*



9.30 pav., *b*



9.30 pav., *c*



9.30 pav., *d*

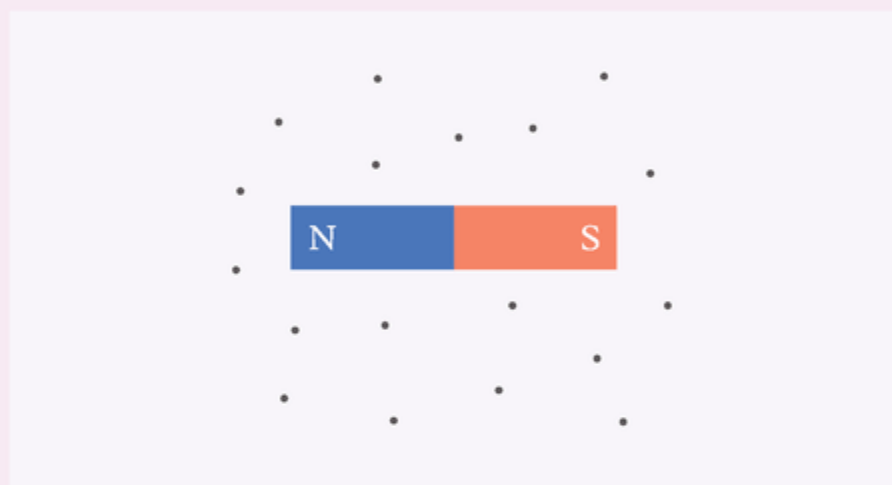
### Tai įdomu

★ Apie magneto pavadinimo kilmę yra įvairių legendų. Skyrelio pradžioje pateiktoje romėnų poeto ir filosofo Lukrecijaus poemos ištraukoje šis terminas siejamas su hipotetine magnetų tautele. Magneto pavadinimas kildinamas ir iš Graikijos miestelio Magnėzijos vardo. Pagal Rėmos mokslininko ir rašytojo Plinijaus Vyresniojo (23–79 m.) aprašytą legendą, piemuo Magnes atėjęs į tokią vietą, kur Žemė labai stipriai traukė jo geležinį lazdos galą ir sandalus; mat jų paduose buvo vinių. Jis pradėjęs toje vietoje kasti žemę ir radęs akmenį, kuris traukė geležinius daiktus. Pagal piemens vardą akmuo ir pavadintas magnetu.

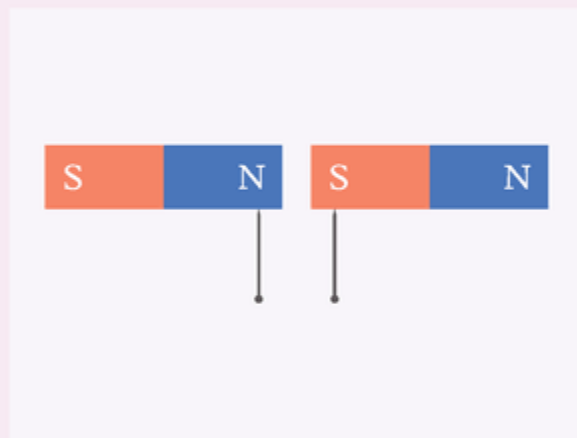


## Užduotys

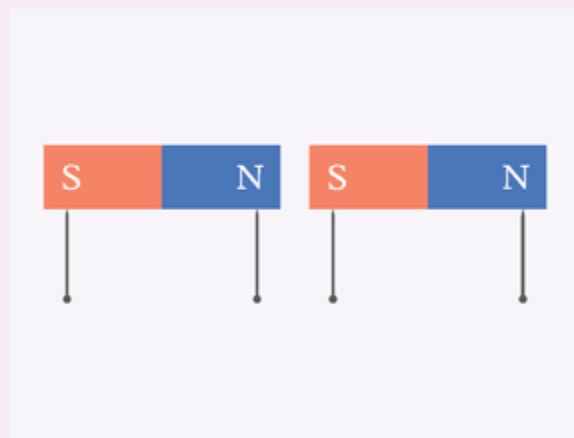
1. Turime du visiškai vienodus geležinius strypus. Kaip nustatyti, kuris iš jų yra magnetas, kuris – ne?
2. Kaip paaiškintumėte geležinio strypelio įmagnetinimą?
3. Kuria kryptimi nusistovi laisvai pakabintas strypinis magnetas arba magnetinė rodyklė?
4. Pavaizduokite, kaip įvairiuose taškuose aplink nuolatinį magnetą (9.31 pav.) išsidėstys magnetinės rodyklės.
5. Kodėl magnetai sąveikauja? Kaip sąveikaus du magnetai, kai vieno jų šiaurės polių artinsime prie kito magneto pietų poliaus; šiaurės poliaus?
6. Kaip galima pavaizduoti magneto magnetinį lauką? Kokia yra jo kryptis?
7. Ar galima pagaminti vienpolį magnetą? Atsakymą paaiškinkite.
8. Prie magnetų polių prikibo po adatėlę (9.32 pav.). Kas atsitiks laisviesiems adatėlių galams, artinant vieną magnetą prie kito? Kas atsitiks adatėlėms, kai magnetų galus, kurie laiko adatėles, suglausime?
9. Dviejų magnetų poliai pritraukę laiko adatėles (9.33 pav.). Ar visos jos nukris, kai magnetus suglausime priešingais poliais? Kodėl?
10. Magneto pritrauktų dviejų adatėlių laisvieji galai vienas nuo kito nutolę (9.34 pav.). Kodėl?



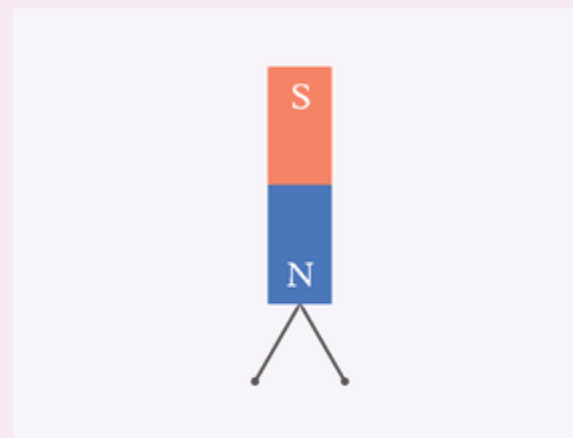
9.31 pav.



9.32 pav.



9.33 pav.



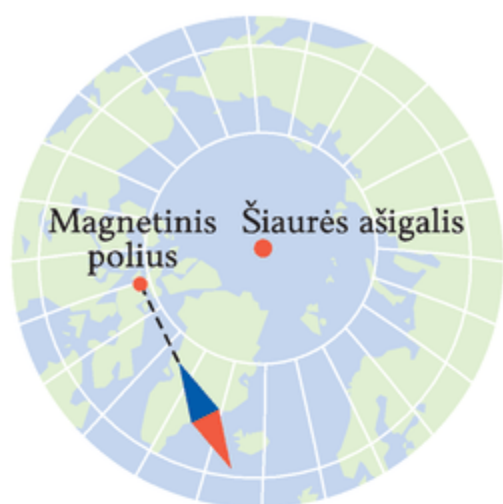
9.34 pav.

## 9.3. Žemės magnetinis laukas

### Žemė – milžiniškas magnetas

Bet kurioje Žemės vietoje padėta magnetinė rodyklė, galinti laisvai sukiotis, visuomet (jeigu arti jos nėra magnetų, geležinių daiktų ar elektros srovių) nusistovi šiaurės–pietų kryptimi (9.35 pav.). Tai rodo, kad aplink Žemę yra

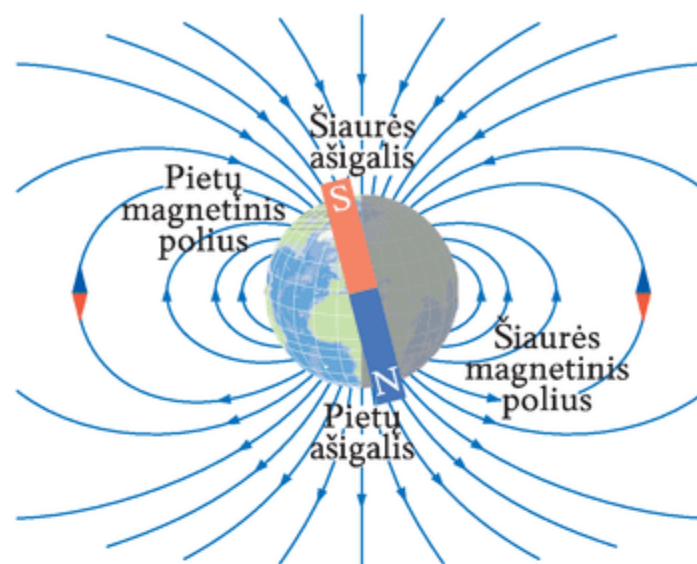
magnetinis laukas, kuris orientuoja magnetinę rodyklę išilgai jo magnetinių linijų. Vadina-si, Žemė yra milžiniškas magnetas, turintis du magnetinius polius. **Žemės šiaurės magnetinis polius** (9.36 pav.) yra **Pietų pusrutulyje**



9.35 pav.

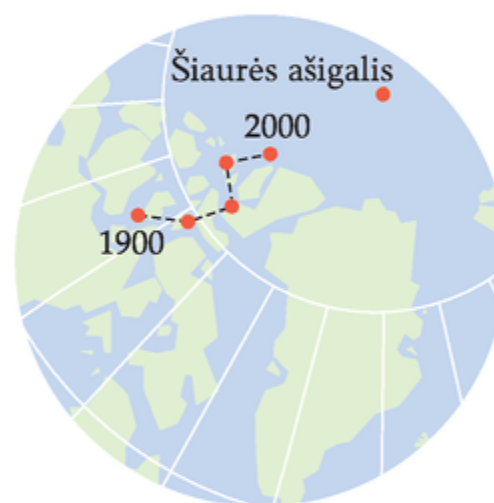
**arti pietų geografinio ašigalio** (į jį nukrypsta kompas rodyklės pietų polius), o **pietų magnetinis polius** – **Šiaurės pusrutulyje netoli šiaurės geografinio ašigalio** (į jį nukrypsta magnetinės rodyklės šiaurės polius). Žemės magnetinius polius jungianti tiesė vadinama **magnetine ašimi**, o per juos išvesti apskritimai – **geomagnetiniais dienovidiniais**. Būtent jų kryptimi nusistovi magnetinė rodyklė.

Žemės geografinis ašigalis nesutampa su jos magnetiniu poliumi, todėl pagal kompas rodyklę nustatyta šiaurės ir pietų kryptis yra tik apytikslė. Geografinio ašigalio padėtis pastovi, o magnetinio poliaus kinta. Pietų magnetinis polius dabar yra Šiaurės pusrutulyje, Kanados salyno Bātersto salų šiauriniame pakraštyje. Per parą jis priartėja prie geografinio ašigalio 20,5 m,



9.36 pav.

o per metus – apie 7,5 km. Kaip laikui bėgant kinta šio magnetinio poliaus padėtis, parodyta 9.37 paveiksle. Manoma, kad 2185 m. šiaurėje magnetinis Žemės polius sutaps su geografiniu ašigaliu.



9.37 pav.

## Žemės magnetizmo prigimtis

Žemės magnetizmas dar ne visiškai išaiškintas. Seniau manyta, kad Žemės magnetinį lauką sukelia jos gelmėse esančios geležingosios uolienos. Tačiau giliau kaip 30 km jų magnetinės savybės išnyksta dėl aukštos temperatūros. Todėl geležingųjų uolienų poveikis Žemės magnetiniam laukui palyginti nedidelis. Dabar manoma,

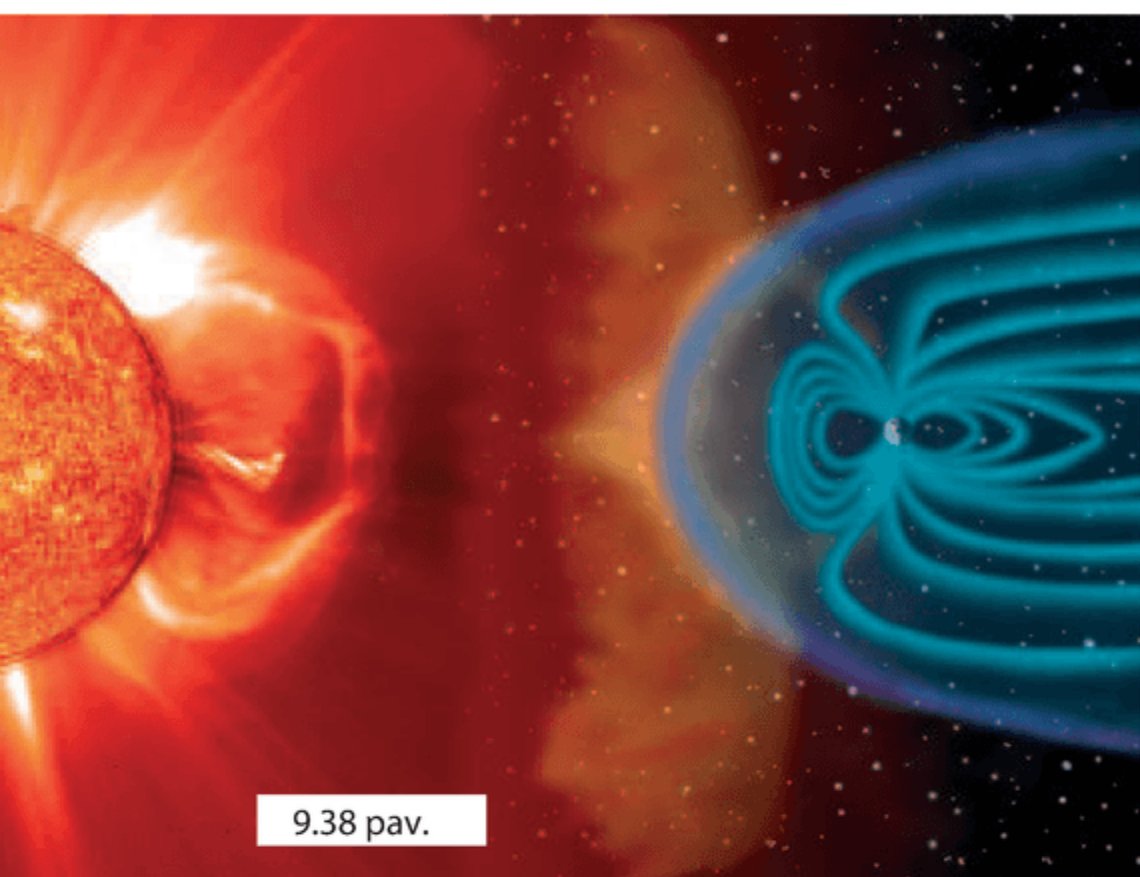
kad svarbiausia Žemės magnetinio lauko priežastis – jos skystame branduolyje, sudarytame daugiausia iš geležies ir nikelio, judančios gausybės elektringųjų dalelių konvekcinės srovės. O mes jau žinome, kad kiekviena elektros srovė sukuria magnetinį lauką.

## Saulės įtaka Žemės magnetiniam laukui

Žemės magnetinis laukas nėra simetriškas. Saulės pusėje jis tęsiasi maždaug 6000 km, o

priešingoje pusėje – net apie 100 kartų toliau (9.38 pav.). Taip jį iškreipia greitų elektringųjų





9.38 pav.

dalelių – elektronų ir protonų – srautai, kuriuos į Visatą išmeta Saulė. Šie srautai vadinami **Saulės vėju**. Prie Žemės orbitos Saulės vėjo greitis siekia 400–2000 km/s. Žemės magnetinis laukas sulaiko Saulės vėjo daleles ir neleidžia daugeliui jų prasiskverbti į Žemę.

Kartais Žemės magnetiniame lauke vyksta trumpalaikiai pokyčiai – vadinamosios **magnetinės aūdros**. Dažniausiai jos kyla padidėjus Saulės aktyvumui, t. y. sustiprėjus Saulės išmetamų dalelių srautams. Šių dalelių sukurti magnetiniai laukai pakeičia Žemės magnetinį lauką. Dėl to sutrinka kompasai, trūkinėja radijo ryšys, suintensyvėja Žemės ašigalių srityse matomas įvairiaspalvis švytėjimas – poliarinės pašvaistės.

#### Tai įdomu

✳️ Kompasas (it. *compasso* – išmatuoti (skriestuvu)) – ant ašies laisvai besisukanti magnetinė rodyklė, t. y. prietaisas orientuotis pasaulio šalių atžvilgiu, rodantis magnetinio arba geografinio dienovidinio kryptį.

✳️ Kinijoje magnetais kaip kompasais naudota si jau 2000 m. pr. Kr.

✳️ Europoje magnetinis kompasas pradėtas naudoti XI–XII a. „Kai jūreiviui plaukiant jūra Saulė už debesų pasislepia ar pasaulį apgaubia nakties tamsa, pakabinama magnetinė adata, kuri pasisukiojusi smaigaliu šiaurę rodo... Šitaip jūreiviai sužino, kur reikia plaukti, kai nematyti Mažųjų Grį-

žulo Ratų.“ Taip pirmą kartą (1180 m.) Europos literatūroje aprašo kompasą anglų mokslininkas Aleksandras Nekamas (*Nekam*).

✳️ Pirmieji kompasai buvo inde vandens plūduriuojantys kamščiai su magnetine rodykle. XIV a. rodyklė pradėta mauti ant smaigalio, įtvirtinto sugraduoto skritulio centre.

✳️ Paprastai nustatoma Žemės magnetinio lauko stiprio vidutinė vertė. Tačiau yra vietų, kur dėl geležingųjų uolienų telkinių Žemės plutoje magnetinis laukas daug stipresnis už vidutinį. Tokios Žemės sritys vadinamos magnetinės anomalijos sritimis

(gr. *anomalía* – nukrypimas). Lietuvės šiaurės rytuose ir Latvijos pietryčiuose yra didžiausia Pabaltijyje Tumasonių–Sūbato magnetinė anomalija. Geležies rūdos uolienos čia slūgso 1000 m gylyje. Tai pastebėta 1936 m., tiriant magnetinį lauką Rōkiškio rajone.

✳️ Magnetinį lauką turi ir kai kurios kitos Saulės sistemos planetos: Jupiteris, Marsas, Merkurijus, Saturnas ir pati Saulė. Yra žvaigždžių, kurios dėl stipraus magnetinio lauko vadinamos net magnetinėmis žvaigždėmis. Mėnulis ir Venera magnetinio lauko neturi.



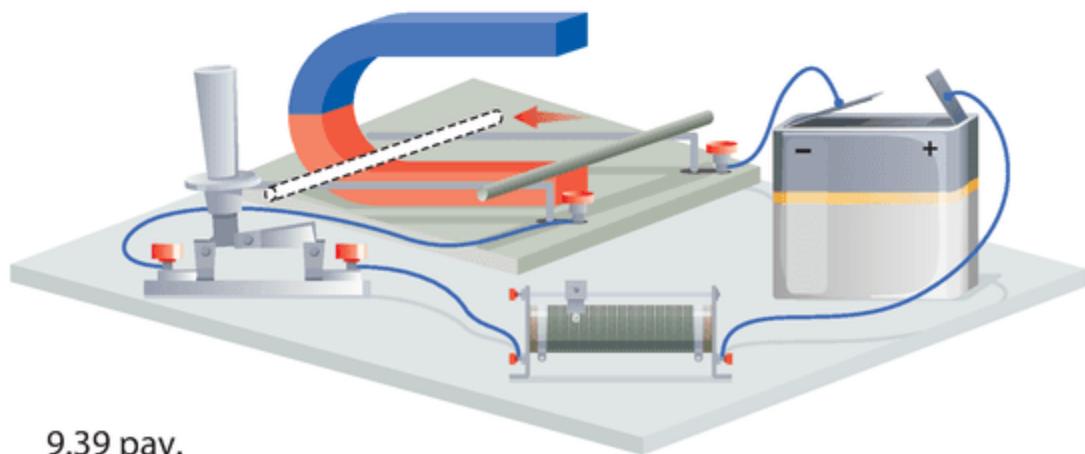
1. Kas rodo, kad aplink Žemę yra magnetinis laukas?
2. Kas jį sukuria?
3. Kokia yra Žemės magnetinio lauko jėgų linijų kryptis?
4. Ar teisingai rodys pasaulio šalis kompasas automobilio salone? Patikrinkite.
5. Laivai Žemės magnetizmui tirti daromi iš medžio, o jų detalės tvirtinamos bronzinėmis vinimis. Kodėl?
6. Ar vakuume esančio kompas magnetinė rodyklė nusistovės geomagnetinio dienovidinio kryptimi?
7. Kodėl kompasai netinkami naudoti arti Žemės magnetinių polių?
8. Plieninės sijos sudėtos sandėliuose šiaurės–pietų kryptimi. Per ilgesnį laiką jos įsimagnetina. Kodėl?
9. Kodėl nereikėtų dėti laikrodžio ant televizoriaus ar radijo aparato?

## 9.4. Elektros variklis

### Laidininkas magnetiniame lauke

Žinome, kad aplink laidininką, kuriuo teka elektros srovė, yra magnetinis laukas, veikiantis magnetinę rodyklę (Erstedo bandymas). Kyla klausimas: ar magnetinės rodyklės magnetinis laukas neveikia laidininko? Be abejo, taip, tačiau jis toks silpnas, kad magnetinių laukų sąveikos pastebėti neįmanoma. O kas atsitiks, jei laidininkas, kuriuo teka elektros srovė, pateks į stiprų magnetinį lauką? Tai sužinosime atlikę bandymą.

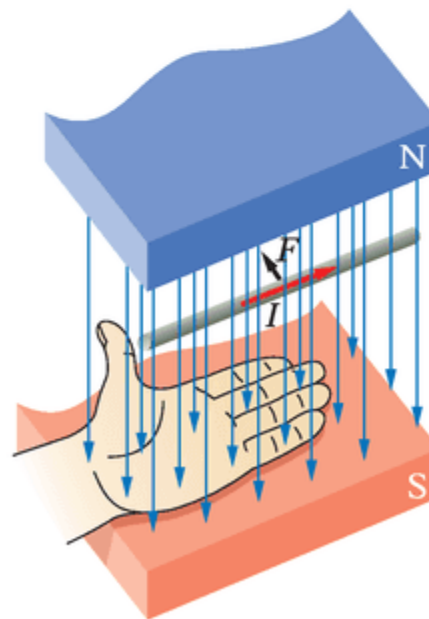
**Bandymas.** Sumontuokime 9.39 paveiksle parodytą įrenginį. Dviem neizoliuotais laidininkais, įjungtais į elektrinę grandinę, gali judėti lengvas metalinis vamzdelis (arba viela), esantis tarp pasagiškojo magneto polių. Įjungus jungiklį, grandinė pradeda tekėti elektros srovė ir viela tarp magneto polių ima judėti. Tai rodo,



9.39 pav.

kad magnetiniame lauke esantį laidininką, kuriuo teka elektros srovė, veikia tam tikra jėga. Jos veikimo kryptį, sutampančią su laidininko judėjimo kryptimi, galima nusakyti **kairės rankos taisyklė** (9.40 pav.): **jei kairė ranka laikoma taip, kad magnetinio lauko jėgų linijos sueina į jos delną, o keturi ištiesti pirštai rodo elektros srovės kryptį, tai  $90^\circ$  kampui ištiestas nykštys rodo laidininką veikiančios jėgos kryptį.**

Laidininko, kuriuo teka srovė, judėjimu magnetiniame lauke pagrįstas buityje ir technikoje naudojamų elektros variklių darbas.

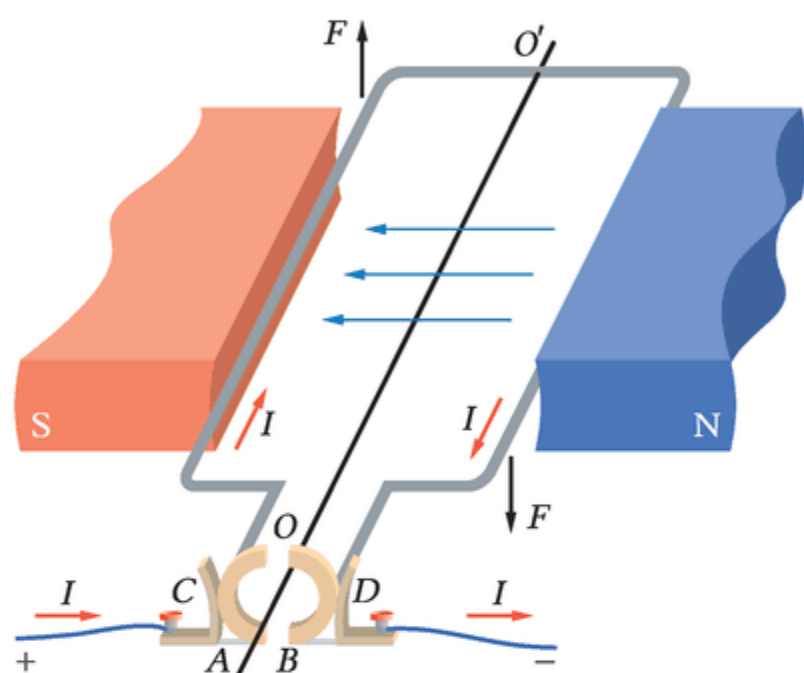


9.40 pav.



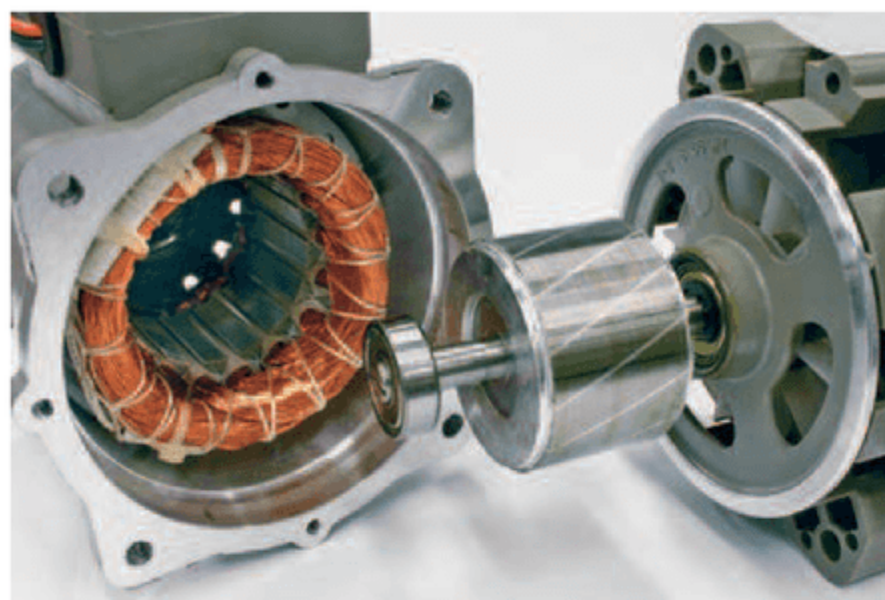
## Elektros variklio veikimo schema

**Elèktros varìklis** – elektros mašina, paverčianti elektros energiją mechanine energija. Elektros variklio veikimą galima paaiškinti tokia schema (9.41 pav.). Tarp magneto polių yra vienos rėmelis su pusžiedžiais *A* ir *B* galuose. Vienas nuo kito izoliuoti pusžiedžiai prigludę prie šepetėlių *C* ir *D*. Vienas šepetėlis visada sujungtas su teigiamuoju šaltinio poliumi, kitas – su neigiamuoju. Rėmelis gali sukis aplink ašį *OO'*.



9.41 pav.

Iš srovės šaltinio teigiamojo poliaus elektros srovė šepetėliu *C*, pusžiedžiu *A* pasiekia kairiąją rėmelio dalį, kuri brėžinyje yra ties magneto pietų poliumi. Pagal kairės rankos taisyklę nustatome, kad šią rėmelio dalį veikia aukštyn nukreipta jėga. Dešiniąją rėmelio dalimi tekančios srovės kryptis yra priešinga, todėl (pagal kairės rankos taisyklę) tą dalį veikia žemyn nukreipta jėga. Kadangi rėmelis pritvirtintas prie ašies, abiejų jėgų veikiamas, jis gali tik pasisukti. Iš inercijos jis pasisuka pusę apskritimo. Tada pusžiedis *B* atsiduria ties šepetėliu *C* ir srovės kryptis rėmelyje pasikeičia priešinga. Dabar rėmelio dalis ties magneto pietų poliumi vėl veikiamą į viršų, o ties šiaurės poliumi – žemyn. Rėmelis sukasi toliau ir netrukus pradeda sukis labai greitai. Tikrame variklyje tokių rėmelių tarp stiprių elektromagnetų polių yra ne vienas, o daug, dėl to jie sukasi tolygiai. Besisukanti elektrinio variklio dalis (šiuo atveju – rėmelis)



9.42 pav.

vadinama **ròtoriumi** (lot. *roto* – suku, sukuosi), o nejudanti dalis (magnetas) – **stàtoriumi** (lot. *statos* – nejudamai stovintis).

Nuolatinės srovės varikliai (vienas jų pavaizduotas 9.42 paveiksle) plačiai taikomi praktikoje, kaip antai: troleibusuose, elektrovežiuose, tramvajuose, ekskavatoriuose, staklėse, gręžtuvuose ir pan. Šie varikliai yra pranašesni už šiluminius, nes gali būti įvairaus dydžio, neišskiria į aplinką kenksmingų medžiagų, jiems nereikia degalų, juos galima įtaisyti įvairiose vietose, jų gana didelis naudingumo koeficientas (galingų elektros variklių siekia iki 98 %).

### Tai įdomu

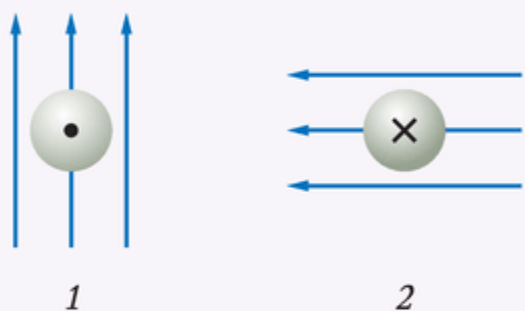
★ Pirmąjį elektros variklį 1834 m. sukonstravo iš Pòtsdamo (Vokietijà) kilęs inžinierius Moricas Hermanas Jakobis (*Jacobi*, 1801–1874), baigęs Gètingeno universitetą. Varikliui tobulinti reikėjo lėšų. Jakobis surado rėmėją – Rùsijos carą Nikolajų I. Nuo 1837 m. Jakobis gyveno Sankt Peterbùrge, priėmė Rùsijos pilietybę, tapo Sankt Peterburgo akademijos akademiku ir žinomas kaip Borisas Jakobis.

## Užduotys

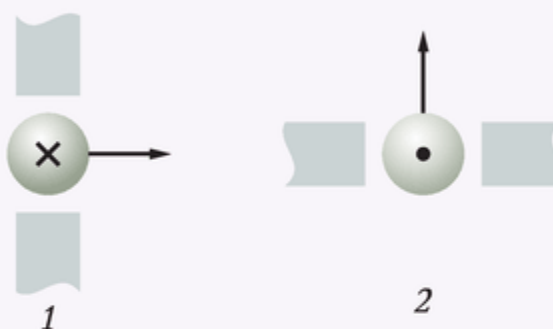
1. Suformuluokite taisyklę, pagal kurią nustatoma magnetiniame lauke esanti laidininką veikiančios jėgos kryptis.
2. 9.43 paveiksle pavaizduotos magnetinių laukų jėgų linijos ir tuose laukuose esančiais laidininkais tekančių srovių kryptys. Nurodykite laidininkus veikiančių jėgų kryptį.
3. Tarp magnetų polių esančiais laidininkais (9.44 pav.) teka elektros srovė. Rodyklės

žymi laidininkų judėjimo kryptį. Nurodykite magnetų polius.

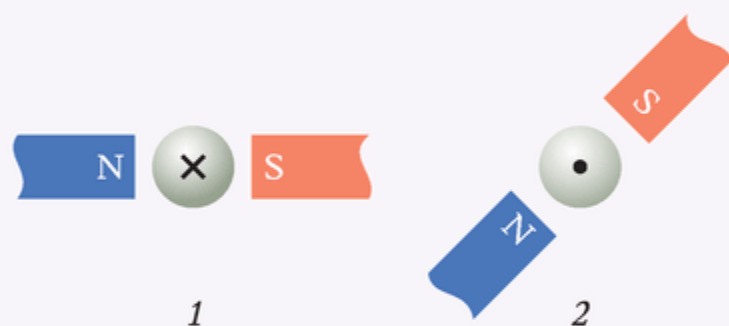
4. Tarp magneto polių esančiais laidininkais (9.45 pav.) teka elektros srovė. Nurodykite laidininkus veikiančios jėgos kryptį.
5. 9.46 paveiksle pavaizduoti tarp magneto polių esantys laidininkai, kuriais teka elektros srovė, taip pat pažymėta jų judėjimo kryptis. Nurodykite elektros srovės kryptį.



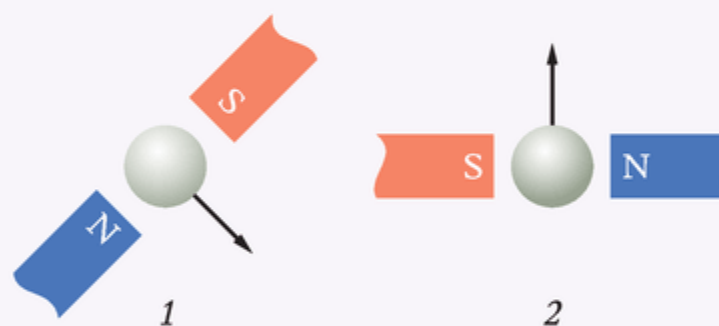
9.43 pav.



9.44 pav.


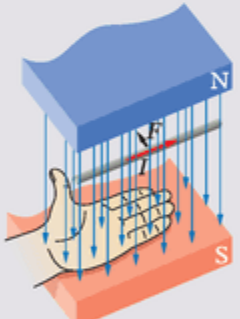


9.45 pav.



9.46 pav.



Erstedo bandymas	Aplink laidininką, kuriuo teka elektros srovė, yra magnetinis laukas.
Magnetinės linijos	Magnetinis laukas vaizduojamas jo jėgų linijomis, arba magnetinėmis linijomis. Tai – uždaros linijos, išilgai kurių magnetiniame lauke išsidėsto magnetinės rodyklės.
Dešinės rankos taisyklė 	Jei laidininką, kuriuo teka elektros srovė, apimsime dešine ranka taip, kad nykštys rodytų srovės kryptį, tai kiti keturi pirštai rodys magnetinių linijų kryptį.
Magnetai	Ritė, kurios viduje yra geležinė šerdis, vadinama elektromagnetu. Kūnai, kurie ilgai neišsimagnetina, vadinami nuolatiniais magnetais, arba tiesiog magnetais. Magnetai turi du magnetinius polius: šiaurės ir pietų. Vienavardžiai magnetiniai poliai vienas kitą stumia, įvairiavardžiai – traukia. Nuolatinio magneto magnetinės linijos prasideda šiaurės magnetiniame poliuje ir baigiasi pietų magnetiniame poliuje. Jos yra uždaros kreivės.
Elektros variklis	Elektros variklis – elektros mašina, paverčianti elektros energiją mechanine energija. Jo veikimas pagrįstas laidininko, kuriuo teka elektros srovė, judėjimu magnetiniame lauke.
Kairės rankos taisyklė 	Jei kairė ranka laikoma taip, kad magnetinio lauko jėgų linijos sueina į jos delną, o keturi ištiesti pirštai rodo elektros srovės kryptį, tai 90° kampu ištiestas nykštys rodo laidininką veikiančios jėgos kryptį.

# Savikontrolės užduotys

1. Srovės šaltinis nuosekliai sujungtas su metaliniu strypu ir jungikliu (9.47 pav.).

a) Nurodykite, koks laukas susidaro aplink strypą, kai jungiklis neįjungtas.

- A Magnetinis laukas.
- B Elektrinis laukas.
- C Elektrinis ir magnetinis laukai.
- D Nesusidaro jokie lauko.

b) Koks laukas susidaro aplink strypą įjungus jungiklį?

- A Magnetinis laukas.
- B Elektrinis laukas.
- C Elektrinis ir magnetinis laukai.
- D Nesusidaro jokie lauko.

c) Pavaizduokite strypo magnetinį lauką.

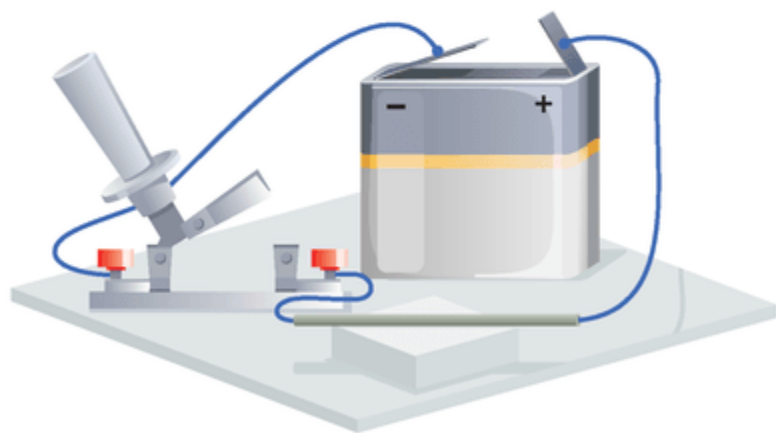
2. Kuris teiginys yra teisingas?

A Nuolatinio magneto kuriamo magnetinio lauko jėgų linijos yra tiesės, einančios iš šiaurės magnetinio poliaus į pietų magnetinį polį.

B Nuolatinio magneto kuriamo magnetinio lauko jėgų linijos yra tiesės, einančios iš pietų magnetinio poliaus į šiaurės magnetinį polį.

C Nuolatinio magneto kuriamo magnetinio lauko jėgų linijos yra uždaros kreivės, einančios iš šiaurės magnetinio poliaus į pietų magnetinį polį.

D Nuolatinio magneto kuriamo magnetinio lauko jėgų linijos yra uždaros kreivės, einančios iš pietų magnetinio poliaus į šiaurės magnetinį polį.



9.47 pav.

3. 9.48 paveiksle pavaizduotas nuolatinis magnetas ir jo magnetinis laukas.

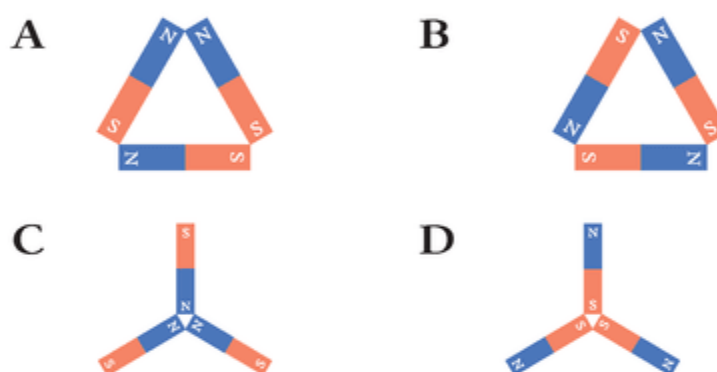
a) Koks yra šis magnetas?

b) Įvardykite skaičiais pažymėtus jo polius.

c) Nurodykite, kuriuose iš raidėmis pažymėtų taškų magneto poveikis yra stipriausias.

4. Kurį strypinio magneto polių trauks pasagiškojo magneto šiaurės polius?

5. Kuri trijų strypinių magnetų padėtis pavaizduota teisingai? Paaškindite kodėl.



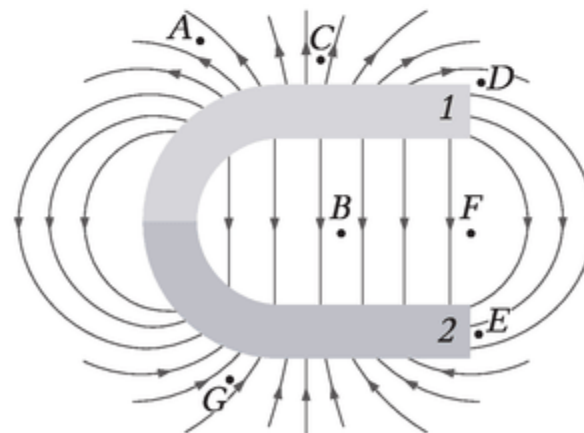
6. Žemės magnetinis polius yra arti jos šiaurės ašigalio.

a) Apie kurį Žemės magnetinį polių kalbama?

b) Kurį kompas rodyklės polių jis traukia?

c) Išilgai kokių kreivių Žemės magnetiniame lauke nusistovi kompas rodyklė?

7. Tarp magneto polių esančiu laidininku nurodyta kryptimi teka elektros srovė (9.49 pav.). Nustatykite, kuria kryptimi šį laidininką veikia magnetinė jėga. Persibraižykite brėžinį ir pažymėkite jame tą jėgą.



9.48 pav.



9.49 pav.



## Skyrelių užduočių atsakymai

- 1.7. 1. 140 J. 2. 276 kJ. 3.  $-3,36 \cdot 10^6$  J. 4.  $|Q_1| = |Q_2| = 20,16$  kJ. 5. 2 l.  
6. 30 °C. 7.  $\approx 7,1 \cdot 10^5$  J. 8\*.  $5,3 \cdot 10^{15}$  J. 9. 1 – pienui, 2 – prikaistuviui.  
10. 420 m. 11. 80 l.
- 1-asis l. d. 1. 840 J/(kg · °C). 2. 35 °C.
- 1.8. 5.  $9,2 \cdot 10^{10}$  J. 6.  $7,4 \cdot 10^8$  J. 7.  $\approx 1,9$  t. 8. 3 kg. 9.  $\approx 23$  kg. 10.  $\approx 11$  °C.
- 2.2. 6. Aliuminiam 15,6 karto. 7. a)  $5,1 \cdot 10^5$  J; b)  $6,36 \cdot 10^5$  J. 8. 1,65 MJ.  
11.  $\approx 2,9$  MJ.
- 2.3. 2.  $-6,8 \cdot 10^8$  J. 3. 1,5 kg. 4. Kietėjant geležiai ( $Q_{Fe} = -16,2 \cdot 10^5$  J;  
 $Q_{Al} = -7,8 \cdot 10^5$  J). 5.  $\approx -1$  MJ. 7\*. Apie  $-11,8$  MJ.
- 2.5. 9. 13,18 MJ. 11. 84 kJ. 12.  $\approx 6,1$  MJ. 13.  $\approx 2,6$  MJ.
- 3.1. 8. 25 kartus. 9. 50 kartų. 10. 6 cilindrus. 11. 3 kJ.
- 3.3. 4. 35 %. 6.  $\approx 33$  %. 7. 16 %. 8.  $\approx 6,5$  J. 9. Neužteks. 10.  $\approx 22$  %.
- 2-asis l. d. 1. 459 J/(kg · °C). 2. 4 %. 3. 300 l; 250 l.
- 3.4. 3.  $8,8 \cdot 10^{15}$  J. 4.  $\approx 4,4 \cdot 10^{17}$  J. 6.  $2,6 \cdot 10^8$  J.
- 5.1. 5. 2 A. 6.  $I_1 : I_2 = 6$ . 7. Vienoda. 8. Per 3 min 20 s. 9. a) 30 C; b)\*  $1,9 \cdot 10^{20}$ .
- 3-iasis l. d. 3. 45 C. 4. 0,03 A.
- 5.2. 5. 60 J. 6.  $U_1 : U_2 = 1 : 2$ . 7. 4,5 V. 8. Pirmoje 3 kartus. 9. Sumažės.
- 5.3. 2. 55 Ω. 3. 100 Ω. 5. 3 Ω; 3 Ω. 7. 2 grafikas. 8. b) 3 Ω.
- 5.4. 2. Sumažėjo 4 kartus. 3. Padidėjo 4 kartus. 5. 1,6 Ω. 6. Antrojo didesnė  
4 kartus. 7. 0,765 mm<sup>2</sup>. 8. Iš konstantano. 9\*. 150 m.
- 5.5. 4. 100 Ω. 5. 142,4 kg. 9\*. a) 200 Ω; b) 80 Ω.
- 5.6. 4. 4 V. 5. 5 A. 6. 20 V. 7\*. Iš nichromo.
- 6.1. 1. 4 V. 2. 4 V. 3. 6 Ω. 6. 37 lemputes. 7. 16 Ω. 8\*. 15 Ω. 9. Švies  
silpniau. 10.  $\approx 0,324$  A;  $\approx 4,4$  V;  $\approx 1$  V;  $\approx 0,6$  V.
- 6.2. 7.  $\approx 1,1$  Ω. 8. 0,6 Ω. 10.  $\approx 4,3$  Ω.
- 6.3. 3. 4,5 Ω. 4.  $U_1 : U_2 = 3$ . 5. a)  $R_A < R_B$ ;  $U_A < U_B$ ; b)  $I_A = I_B$ . 7. 40 Ω.
- 7.1. 1. 18 J. 2.  $\approx 2,5$  kJ. 3. 7,2 kJ. 10\*.  $3,2 \cdot 10^3$  kJ.
- 7.2. 6. 0,5 A. 7.  $\approx 16,4$  kC.
- 7-asis l. d. 1. 8 kW · h, arba  $2,88 \cdot 10^7$  J. 2. Nevienodo;  $I_1 : I_2 = 2$ . 3. 720 kJ.  
4\*. 5,4 A.
- 7.3. 9. 0,44 A; 96,8 W. 10. 600 J. 11\*.  $\approx 54$  g.
- 7.4. 8. 300 W ir 500 W galios lempas.
- 7.5. 6. 0,33 A.

## 1 skyrius

1. Negalima, nes, kalbant apie šiluminį judėjimą, turimas galvoje didelis skaičius molekulių. 2. Negalima, nes kūną sudarančios dalelės vis tiek sąveikauja ir judės netvarkingai. 3. B. 4. Dėl trinties jėgos atliekamo darbo padidėja degtuko galvutės vidinė energija, taigi ir temperatūra. Dėl to degtukas užsiliepsnoja. 5. Abiem atvejais padidėja degtuko galvutės vidinė energija: pirmuoju atveju – dėl trinties jėgos atliekamo mechaninio darbo, antruoju – dėl šilumos perdavimo. 6. C. 7. Į plieninį, nes jis laidesnis šilumai negu porcelianinis. 8. a) Konvekcija; b) šilumos laidumas; c) šilumos spinduliavimas. 9. a) Šilumos spinduliavimu; b) tamsi, nes sugeria daugiau šilumos; c) šviesi; d) tamsi, nes kūnas tamsiu paviršiumi greičiau praranda šilumą. 10. 5 kg. 11. 4,5 kg.

## 2 skyrius

1. C. 2. a)  $1,7 \cdot 10^5$  J; b) 210 kJ. 3. a) AB – skystąją, BC – skystąją ir kietąją, CD – kietąją; b) AB – skysčio aušimą, BC – skysčio kietėjimą, CD – kietosios medžiagos aušimą; c) kietėjimas; 4 min; d)  $327^\circ\text{C}$ . 4. Todėl, kad skalbinių krūvos paviršiaus plotas yra mažas. 5. Garuodamas nuo sudrėkintų grindų, vanduo pasiima iš jų šilumą. 6. B. 7. a) 1 skysčio; b) 1 skysčio. 8. 2,5 kg.

## 3 skyrius

1. C. 2. a) Keturtaktis vidaus degimo variklis; b) A – suspaudimas, B – išmetimas, C – darbas, D – įsiurbimas; c) darbo takto metu; d) keturi. 3. a) Garo turbina; b) vandens garų srauto kinetinė energija virsta mechanine energija; c) nejudamosiomis mentėmis; d) nukreipia iš katilo besiveržiančius garus į darbinio rato mentes. 4. 25 %. 5.  $\approx 27,4$  %. 6.  $\approx 34$  %.

## 4 skyrius

1. 1 poros – skirtingų ženklų, 2 poros – vienodų ženklų, 3 poros – skirtingų ženklų. 2. B. 3. a) Nes jie įelektrinti skirtingo dydžio krūviais; b) lazdele paliesiti elektroskopo rutulį; jei rodyklė pakryps daugiau, elektroskopo krūvis buvo neigiamas, jei mažiau – teigiamas; c) elektroskopų rodyklės nukryps vienodai, nes rutulių krūvis pasidalys perpus; d) rutulį paliesti ranka arba metaliniu strypeliu sujungti su žeme. 4. B.

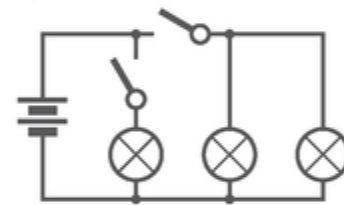
5.  6. a), b)  c) sukeisti srovės šaltinio polius.

## 5 skyrius

1. a) Elektrinė varža; b) elektrinė įtampa; c) elektros srovės stipris. 2. a) 1 – ampermetras, 2 – miliampermetras, 3 – voltmėtras; b) 1 – nuo 0 iki 2 A, 2 – nuo 0 iki 5 mA, 3 – nuo 0 iki 250 V; c) 1 – 0,1 A, 2 – 1 mA, 3 – 25 V; d) 1 –  $(1,6 \pm 0,05)$  A, 2 –  $(2 \pm 0,5)$  mA, 3 –  $(125 \pm 12,5)$  V. 3. 1,2  $\Omega$ . 4. a) 4 A; b) 240 C; c) 1,44 kJ. 5. a) Srovės stiprio ir įtampos; b) tiesioginio proporcingumo; c) laidininko varžos vertę; 4  $\Omega$ . 6. Sumažėjo perpus, nes varža nepasikeitė, o srovės stipris tiesiogiai proporcingas įtampai. 7. C. 8. 20 m.

## 6 skyrius

1. D. 2. 1 atveju švies, 2 atveju – ne. 3. C. 4. a) 0,5 A; b)  $U_{BC} = 1$  V;  $U_{CD} = 0,5$  V;  $U_{AD} = 2,5$  V; c) 5  $\Omega$ . 5. 25  $\Omega$  laidininku, nes, esant vienodai įtampai, srovės stipris yra didesnis tada, kai mažesnė varža. 6. a) Lygiagrečiai; b) abi nuosekliai; c)  $I_1 = 0,2$  A;  $I_2 = 0,3$  A; d)  $I = 0,5$  A. 7.



## 7 skyrius

1. C. 2. D. 3. C. 4. 24,5 kJ. 5. Kadangi kaitinamojo elemento varža yra labai didelė, o laidos – maža, tai pagal formulę  $Q = I^2 R t$  laidas išskiria daug mažiau šilumos negu kaitinamasis elementas. 6. C. 7. 120 V. 8. 60 W lempučių; iš formulės  $P = UI$  matyti: kai įtampa vienoda, srovės stipris yra tuo didesnis, kuo didesnė galia. 9. Trumpasis jungimas. 10. Perkrovus grandinę, srovė joje labai sustiprėja, o dėl to labai įkaista ir gali užsidegti laidai.

## 8 skyrius

1. D. 2. Srovei tekant varine viela, vario atomai nesuskyla į jonus kaip vario sulfato molekulės, jie tik netenka elektronų. 3. C. 4. Kai dujos pakaitinamos arba apšviečiamos spinduliais. 5. B. 6. D. 7. B.

## 9 skyrius

1. a) B; b) C; c) magnetinės linijos išsidėsto apskritimais aplink strypą, o jų kryptis sutampa su laikrodžio rodyklės kryptimi. 2. C. 3. a) Pasagiškasis; b) 1 – šiaurės magnetinis polius, 2 – pietų magnetinis polius; c) taškuose D ir E. 4. Pietų magnetinį polių. 5. B. 6. a) Apie Žemės pietų magnetinį polių; b) šiaurės magnetinį polių; c) išilgai geomagnetinių dienovidinių. 7. Į dešinę.



## Dalykinė rodyklė

### A

Agregatinė būseną 31  
Akumuliatorius 69  
Ampèras 80  
*Ampèras A. M.* 80, 151  
Ampermètras 82, 100  
Anòdas 137  
*Åšmontas S.* 141

### B

*Brazdžiūnas P.* 141

### D

Dárbas 48  
    elèktros srovės – 115, 130  
    mecháninis – 5  
Désnis  
    Archimèdo – 5  
    enèrgijos tvermės – 5, 52 56  
    inèrcijos – 5  
    jėgòs – 5  
    Òmo – grandinės  
    dáliai 98, 100  
    Paskálío – 5  
    veiksno ir atòveiksmio – 5  
Diòdas  
    puslaidininkinis – 140, 142  
    šviesòs – 140  
    vakuuminis – 137, 142  
*Dýzelis R.* 49  
Domènas 151  
Džáulis 5, 7, 19  
*Džáulis Dž. P.* 116

### E

*Èdisonas T. A* 136  
Elektrinė grandinė 72, 76  
Elektrinė įtampa 84, 100  
Elektrinė schemà 73, 76  
Elektrinė varžà 90, 100  
    savitóji – 93, 100  
Elektringoji dalėlė 67, 76  
Elektrinis lituòklis 122  
Elektrolitas 131, 142  
Elektrolitinė disociācija 131  
Elektrolizė 132, 142  
Elektromagnėtas 148, 160  
Elektrònas 60  
    laisvāsis – 65

Elèktros išlydis 134, 142  
    nesaváiminis – 134  
    saváiminis – 134  
Elektroskòpas 59  
Elèktros krūvis 59  
Elèktros mašinos 69  
Elèktros skaitiklis 115  
Elèktros srovė 67, 76  
Elèktros srovės kryptis 68  
Elèktros srovės stipris 79, 100  
Enèrgija  
    kinètinė – 5  
    poteñcinė – 5  
    vidinė – 7, 28  
*Erstèdas H. K.* 145–147

### F

*Faradėjus M.* 141  
Feromagnėtikas 151  
Fotovaržas 141

### G

Galià  
    elektrinė – 118, 128  
    mecháninė – 5  
Galvāninis elementas 69  
*Galvānis L.* 71  
Garāvimas 37, 44  
Gāro turbinà 49  
Geomagnėtinis dienóvidinis 155  
Greitis  
    bangòs sklidimo – 5  
    tolýgiojo judėjimo – 5

### I, J

Išmetimas 48  
Įsiurbimas 48  
Įžėminimas 66  
*Jākobis M. H.* 158  
Jėgà 5  
    Archimèdo – 5  
    elektrinė – 62  
    magnėtinė – 145  
Jėgòs momėntas 5  
Jėgų linijos 63  
    magnėtinio laūko – 146  
Jonizācija  
    dųjų – 134

smūginė – 134  
Judėjimo laikas 5

## K

Kaĩtinamoji lėmpa 120  
Katòdas 137  
Kietėjimas 35, 44  
Kištūkinis varžynas 96  
Kondensacija 38, 44  
Konvėkcija 10, 14, 28  
    laisvóji – 14  
    priverstinė – 14  
Konvėkcinės sròvės 14  
Krūvininkas 67  
Kulònas 80  
*Kulònas Š. O.* 80  
Kúno svòris 5  
Kùras 26

## L

Laĩdininkų jungimas  
    lygiagretùsis – 103, 106, 112  
    nuoseklùsis – 103, 112  
Laidùmas  
    pùslaidininkų – 139  
    elektròninis – – 139  
    priemaišinis – – 139  
    savàsis – – 139  
    skylinis – – 139  
    šilumos – 10, 11, 28  
Laũkas  
    elektrostātinis – 63  
    elektrinis – 62, 76  
    magnėtinis – 145, 160  
    Žėmės – – 154  
Lýdymasis 32, 44  
Lygintùvas 122

## M

Magnėtinė ašis 155  
Magnėtinė audrà 156  
Magnėtinė linija 146, 160  
Magnėtinis pòlius 152, 154  
    pietų – 152, 155  
    šiaurės – 152, 154  
Mėdžiagos taũkis 5  
*Milikenas R.* 60

## N

Naudingùmo koeficieĩtas 5  
    šilumĩnio variklio – 51, 56  
Nueitàsis kėlias 5  
Nuolatinis magnėtas 151, 160

## O

Òmas 90  
*Òmas G. S.* 91, 98  
Ommėtras 91

## P

Pāgreitis 5  
Plazmà 135  
*Póžela J.* 141  
Pùslaidininkis 138, 142  
Puslaidininkinė sándūra 139, 140

## R

Reostātas 95, 100  
    šliaužiklinis – 95, 100  
*Rėpšas K.* 141  
Ròtorius 158

## S

Saugìklis 124, 128  
    automātinis – 125  
    lydùsis – 124  
Sáulės konstānta 17  
Sáulės vėjas 156  
Skylė 139  
Skylinė-elektròninė sándūra  
    139, 142  
*Skròdskis J. K.* 147  
Slėgis  
    kietojo kúno – 5  
    skýšcio stulpėlio – 5  
Stātorius 158  
Sublimācija 39  
Suũkis 5  
Suspaudĩmas 48

## Š

Šilumà  
    kùro degimo – 26, 28  
    lýdymosi – 34, 44  
        savitóji – – 33, 44  
    savitóji garāvimo – 41, 44

    savitóji mėdžiagos – 20, 28  
Šilumĩnis judėjimas 7, 28  
Šilumòs izoliātorius 11  
Šilumòs kiėkis 19, 28  
Šilumòs laĩdininkas 11  
Šilumòs pėrdavimas 10  
Šilumòs spinduliāvimas 10,  
    16, 28

## T

Taisỹklė  
    dešinės raĩkos – 146, 160  
    jėgų momėntų – 5  
    kairės raĩkos – 157, 160  
    sráigto – 147  
    sveřto – 5  
Temperatūrà  
    kietėjimo – 35  
    lýdymosi – 33  
    virimo – 40  
Termoelektròninė emisiija 136  
Trumpàsis jungĩmas 124, 128

## V

Variklis  
    amžinàsis – 52  
    elėktros – 158, 160  
    šilumĩnis – 47, 56  
    vidaũs degimo – 47  
        dyzelinis – – 48  
        keturtāktis – – 47  
Vařzas (rezìstorius) 91, 100  
    šilumĩnis – 141  
Vātas 118  
Vatmėtras 118  
Vātsekundė 118  
Vātvalandė 118  
Virĩmas 40, 44  
*Vòlta A.* 71, 84  
Vòltas 84  
Voltmėtras 87, 100



## Iliustracijų šaltiniai

Viršelio nuotraukos:

www.shutterstock.com / ID: 3247578 / © yurok  
www.shutterstock.com / ID: 30537133 / © gary yim  
www.shutterstock.com / ID: 31584910 / © XYZ  
www.shutterstock.com / ID: 15808756 / © Graeme Dawes

P. 6. / www.shutterstock.com / ID: 12093343 / © Steven Coling  
1.5 pav., 1.14 pav., 2.5 pav., a, b, 2.6 pav., 4.5 pav., 5.3 pav., a, b,  
5.12 pav., a, b, 5.24 pav., 5.31 pav. / V. Zovienės nuotraukos  
1.8 pav., a / www.shutterstock.com / ID: 40865698 / © Adrov  
Andriy  
1.8 pav., b / www.shutterstock.com / ID: 23215408 / © androfroll  
1.8 pav., c / www.shutterstock.com / ID: 3348149 /  
© maxstockphoto  
1.9 pav. / www.shutterstock.com / ID: 28813753 / © Elena  
Eliseeva  
1.10 pav., a / www.shutterstock.com / ID: 28252342 /  
© creatOR76  
1.10 pav., b / www.shutterstock.com / ID: 20543609 / © Franck  
Boston  
1.16 pav. / www.shutterstock.com / ID: 15244045 / © Jump  
Photography  
1.19 pav., a / www.shutterstock.com / ID: 12843652 /  
© terekhov igor  
1.19 pav., b / www.shutterstock.com / ID: 26394373 / © ilker  
canikligil  
1.27 pav., a / www.shutterstock.com / ID: 25790719 / © Roman  
Sigaev  
1.27 pav., c / www.shutterstock.com / ID: 30779440 / © Galyna  
Andrushko  
P. 30. / www.shutterstock.com / ID: 1774520 / © Zoom Team  
2.1 pav. / www.shutterstock.com / ID: 36798865 /  
© ribeiroantonio  
www.shutterstock.com / ID: 648299 / © Michael Shake  
www.shutterstock.com / ID: 28711189 / © Yelena Panyukova  
www.shutterstock.com / ID: 5710273 / © Dave Gordon  
2.10 pav. / www.shutterstock.com / ID: 24342547 / © Vadim  
Ponomarenko  
2.15 pav. / www.shutterstock.com / ID: 41529229 / © samoshkin  
P. 46. / www.shutterstock.com / ID: 11932750 / © terekhov igor  
3.5 pav. / www.shutterstock.com / ID: 1183211 / © Holger W.  
3.6 pav. / [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:  
Ael%C3%ADpila.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ael%C3%ADpila.jpg) / Tamorlan / pagal CC-by-3.0 licenciją  
3.7 pav. / www.shutterstock.com / ID: 22080412 / © igorkosh  
3.9 pav. / www.shutterstock.com / ID: 11041522 / © O.V.D.  
P. 58 / www.shutterstock.com / ID: 9446698 / © Robyn Mac-  
kenzie  
4.13 pav. / www.shutterstock.com / ID: 12296209 / © Alfred  
Bondarenko  
4.30 pav. / www.shutterstock.com / ID: 39527824 / © Hywit  
Dimyadi  
P. 78. / www.shutterstock.com / ID: 42493654 / © EW CHEE  
GUAN

P. 80. (Ampero portretas) / Practical Physics, Millikan and Gale,  
1920, scanned by B. Crowell / [http://commons.wikimedia.org/  
wiki/File:Andre-marie-ampere2.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Andre-marie-ampere2.jpg)  
P. 84. (Voltos portretas) / Practical Physics, Millikan and Gale,  
1920, scanned by B. Crowell / [http://commons.wikimedia.org/  
wiki/File:Alessandro-volta2.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alessandro-volta2.jpg)  
5.23 pav. / Andreas Frank nuotrauka / pagal CC-by-SA 2.0  
licenciją / [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:6\\_different\\_  
resistors.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:6_different_resistors.jpg)  
P. 91. (Omo portretas) / [http://commons.wikimedia.org/wiki/  
File:Gerog\\_Ohm.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gerog_Ohm.jpg)  
5.29 pav. / www.shutterstock.com / ID: 31255153 / © Georgy  
Markov  
P. 102. / www.shutterstock.com / ID: 20317369 / © Yurchyks  
6.4 pav. / www.shutterstock.com / ID: 1129660 / © Grant  
Blakeman  
P. 114. / www.shutterstock.com / ID: 14724520 / © Creations  
7.1 pav. / www.shutterstock.com / ID: 1433073 / © stephen  
mulcahey  
7.8 pav. / www.shutterstock.com / ID: 37477354 / © Anton  
Prado PHOTO  
7.10 pav. / www.shutterstock.com / ID: 37221598 / © s.lyudmila  
7.11 pav. / www.shutterstock.com / ID: 4981510 / © Studio 37  
7.12 pav. / www.shutterstock.com / ID: 7856638 / © Raymond  
Kasprzak  
7.13 pav. / www.shutterstock.com / ID: 32857576 / © ra3rn  
P. 130. / www.shutterstock.com / ID: 36419866 / © Juli  
8.3 pav., a / www.shutterstock.com / ID: 607371 / © Dainis  
Derics  
8.3 pav., b / www.shutterstock.com / ID: 30698944 / © 3dfoto  
8.3 pav., c / www.shutterstock.com / ID: 42360316 / ©  
samoshkin  
8.3 pav., d / www.shutterstock.com / ID: 30543637 / © bilder  
8.3 pav., e / www.shutterstock.com / ID: 33258193 / © KULISH  
VIKTORIA  
8.3 pav., f / www.shutterstock.com / ID: 628705 / © Paul Cowan  
8.5 pav., a / www.shutterstock.com / ID: 1767042 / © Roman  
Krochuk  
8.5 pav., b / www.shutterstock.com / ID: 40979341 / © Skazka  
Grez  
8.5 pav., c / www.shutterstock.com / ID: 3478683 / © Steinar  
Figved  
8.5 pav., d / www.shutterstock.com / ID: 16854367 / © Johan  
Knelsen  
8.5 pav., e / www.shutterstock.com / ID: 42932302 / © CG-  
CREATIVE  
8.15 pav., a / www.shutterstock.com / ID: 20587546 / © ushama  
8.15 pav., b / www.shutterstock.com / ID: 27809959 / © Aleks  
Markku  
P. 144. / www.shutterstock.com / ID: 19716328 / © Alhovic  
9.16 pav. / © The Image Works / TopFoto TopFoto.co.uk  
9.38 pav. / © „SOHO (ESA&NASA)“  
9.42 pav. / www.shutterstock.com / ID: 12426985 / © Kenneth  
V. Pilon

---

**Vladas Valentinavičius, Zita Šliavaitė**

**FIZIKA**

Vadovėlis IX klasei

Redaktorė *Elvyra Žurauskienė*

Dailininkės *Vytautė Zovienė, Rita Brakauskaitė*

Dizainerė *Kristina Jėčiūtė*

Tir. 1000 egz. Leid. Nr. 17 063. Užsak. Nr. BPU 085753.

Uždaroji akcinė bendrovė leidykla „Šviesa“,

E. Ožėškienės g. 10, LT-44252 Kaunas.

El. p. [mail@sviesa.lt](mailto:mail@sviesa.lt)

Interneto puslapis <http://www.sviesa.lt>

Spausdino AB „Spauda“,

Laisvės pr. 60, LT-05120 Vilnius.

Sutartinė kaina



VADOVĖLIO KORTELĖ

Eil. Nr.	Mokinio vardas ir pavardė	Mokslo metai	Vadovėlio išvaizda (labai gera, gera, patenkinama)	
			mokslo metų pradžioje	mokslo metų pabaigoje

BRANGINKITE IR TAUSOKITE VADOVĖLIUS!

Fizikos mokomąjį komplektą IX klasei sudaro:

**Vadovėlis**

**Pratybų sąsiuviniai**

Pirmasis sąsiuvinis

Antrasis sąsiuvinis



ISBN 978-5-430-05546-2



9 785430 055462

 **knygų  
klubas**

Apsilankyk [www.knyguklubas.lt](http://www.knyguklubas.lt)

- Rasi naujausių knygų
- Sužinosi, ką skaito tavo bendraamžiai
- Dalyvausi diskusijose